

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



Veronika Bakešová

**GRANULOMETRICKÁ ANALÝZA HRUBĚ KLASTICKÝCH
SEDIMENTŮ – METODY A JEJICH POROVNÁNÍ**

**COMPARATION OF METHODS OF GRANULOMETRICAL
ANALYSIS OF COARSE FLUVIAL SEDIMENTS**

Bakalářská práce

Praha 2014

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Filip Hartvich, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 22.5.2014

.....

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce RNDr. Filipu Hartvichovi, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a připomínky. Dále děkuji rodině za podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Práce se zabývá granulometrickou analýzou hrubě klastických sedimentů. Granulometrická analýza je zrnitostní rozbor, kterým se stanoví procentuální zastoupení jednotlivých frakcí. Zrnitost je základem pro klasifikaci klastických sedimentárních hornin, což jsou sedimentární horniny složené z úlomků předchozích hornin transportovaných na místo sedimentace v pevném stavu. Hrubě klastické sedimenty jsou horniny, ve kterých převažují částice o velikosti větší než 2 mm. Teoretická část práce obsahuje fyzicko-geografickou charakteristiku zájmového území a metody používané k výzkumu zrnitosti fluviálních materiálů, zejména hrubě klastických. Experimentální část práce popisuje metodu povrchového odběru vzorků – digitální snímkování a zpracování snímků v softwaru Sedimetrix Digital Gravelometer. Oba zkoumané toky mají podobnou zrnitost. Většina částic v tocích spadá do zrnitostní kategorie 2 – 10 mm. Toky se liší pouze mírně odlišným rozložením zrn jemnozeme a střednozrnného štěrku.

Klíčová slova: hrubě klastický sediment, Sedimetrix Digital Gravelometer, vzorkování objemu, vzorkování povrchu, zrnitost, zrnitostní rozbor

Abstract

This bachelor thesis deals with the granulometrical analysis of coarse fluvial sediments. A granulometrical analysis is analytical study for finding the percentual representation of each fraction. Granularity is the basis for classification of clastic sediments. Clastic sediments are sedimentary rocks consisting of the rock fragments transported to the place of sedimentation in the solid state. Coarse clastic sediments are rocks in which predominate particle size greater than 2 mm. The theoretical part of this work contains the physico-geographical characteristic of the studied area and the methods used to research grain size of fluvial materials, especially coarse clastic. The experimental part of this work describes the surface sampling method – the digital photography and image processing in the Digital Sedimetrix Gravelometer software. Both investigated streams have similar granularity. The most of the particles from streams falls into the category of grain size 2 – 10 mm. Flows differ only slightly different distribution of fine-grains and medium-sized gravel.

Keywords: coarse fluvial sediment, granularity, granulometrical analysis, Sedimetrix Digital Gravelometer, surface sampling, volumetric sampling

OBSAH

Seznam obrázků	10
Seznam tabulek	12
Seznam grafů	13
Seznam příloh	14
Seznam zkratk	15
1 Úvod	16
1.1 Zájmové území	16
2 Teoretická část	18
2.1 Fyzicko-geografická charakteristika zájmového území	18
2.1.1 Geologické a geomorfologické poměry a vývoj	18
2.1.2 Hydrologické poměry	22
2.1.3 Klimatické poměry	23
2.1.4 Pedogeografické poměry	24
2.1.5 Biogeografické poměry	25
2.2 Metody používané k výzkumu zrnitosti fluvialních materiálů	27
2.2.1 Přehled metod	27
2.2.2 Metody odběru vzorků sedimentu	28
2.2.2.1 Vzorkování povrchu	28
2.2.2.1.1 Měření v linii	29
2.2.2.1.2 Měření v mřížce	29
2.2.2.1.3 Sedimetrics Digital Gravelometer	31
2.2.2.1.4 Plošné měření	33
2.2.2.2 Vzorkování objemu	34
2.2.3 Metody analýzy zrnitosti	38
2.2.3.1 Sítová metoda	39
2.2.3.1.1 Suchá sítová metoda	40
2.2.3.1.2 Mokrý sítová metoda	40
2.2.3.2 Sedimentační metoda	41
2.2.3.2.1 Vyplavovací metoda Kopeckého	41
2.2.3.2.2 Hustoměrná Cassagrandeho metoda	42
2.2.3.2.3 Pipetovací Andreasenova metoda	44
2.2.3.2.4 Dekantační metoda	46
2.2.3.3 Manuální měření velikosti zrn	46
2.2.3.3.1 Osy zrna	46
2.2.3.3.2 Velikost zrn a velikost tříd	48

2.2.3.3.3 Měření velikosti zrn	49
2.2.4 Analýza zrn	49
2.2.4.1 Tvar zrn	50
2.2.4.2 Hustota a objemová hmotnost zrn	51
2.2.5 Statistická analýza a analýza zrnitostních parametrů	51
3 Experimentální část – metodika prací	55
3.1 Výběr zájmového území	55
3.2 Použité metody	55
3.2.1 Metoda vzorkování povrchu	55
3.2.2 Sedimetrics Digital Gravelometer	58
4 Výsledky a diskuse	61
4.1 Výsledky použitých metod	61
4.2 Diskuse	67
4.2.1 Porovnání výsledků použitých metod	67
4.2.2 Zhodnocení vhodnosti a využitelnosti metod, výhody a nevýhody metod	68
5 Závěr	69
Seznam zdrojů informací	70

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Poloha ORP Sušice, ve kterém se nachází potok Volšovka, v České republice ...	17
Obr. 2 Geologická stavba povodí Volšovky	18
Obr. 3 Geomorfologické členění povodí Volšovky	20
Obr. 4 Digitální model terénu povodí Volšovky	21
Obr. 5 Povodí Volšovky	22
Obr. 6 Povodí Volšovky na leteckém snímku	23
Obr. 7 Typy půd v povodí Volšovky	24
Obr. 8 Fytogeografické členění povodí Volšovky	26
Obr. 9 Umístění povrchového sedimentu	28
Obr. 10 Mřížka k měření částic	30
Obr. 11 Měřicí páska	31
Obr. 12 Fáze měření zrn: vlevo nahoře – snímek ve stupních šedi, vpravo nahoře – transformovaný snímek, vlevo uprostřed – počáteční segmentace, vpravo uprostřed – rozhodující segmentace, vlevo dole – konečný výběr zrn na snímku, vpravo dole – snímek ve stupních šedi překrytý vybranými zrn	33
Obr. 13 Stratigrafie koryta rozlišeného mezi vyztuženou a polovyztuženou vrstvou ..	35
Obr. 14 Stratigrafie koryta rozlišeného mezi povrchovým a podpovrchovým sedimentem	35
Obr. 15 Ekmanův drapákový vzorkovač	36
Obr. 16 Jádrový píستový vzorkovač	37
Obr. 17 Zmrazovací vzorkovač	37
Obr. 18 Speciální odběrák	38
Obr. 19 Síta s postupně se zmenšujícím průměrem ok	39
Obr. 20 Prosévací přístroj - zde HAVER EML 200	40
Obr. 21 Kopeckého vyplavovací přístroj	42
Obr. 22 Hustoměr	43
Obr. 23 Pyknometr	45
Obr. 24 Dekantační válec s postranním tubusem	46
Obr. 25 Klasifikace os částice – oprava po Yuzyk 1986	47
Obr. 26 Klasifikace os částice podle Yuzyk a Winkler 1991	47
Obr. 27 Osa a a osa b u částice kosočtverečného, hranatého a elipsoidního tvaru – přerušovanou linií jsou vyznačeny osy podle Yuzyk a Winkler (1991) a černě podle Gordona a kol. (1992)	48
Obr. 28 Šablona k měření velikosti zrna	49

Obr. 29 Škála pro odhad tvaru klastických zrn	50
Obr. 30 Formulář pro sestrojení zrnitostní křivky	52
Obr. 31 Příklad zrnitostní křivky	52
Obr. 32 Vytřídění sedimentů	53
Obr. 33 Zrnitostní složení velmi dobře vytříděného písku z pobřežní duny (nahore), z pláže (uprostřed) a nedostatečně vytříděného říčního písku (dole)	53
Obr. 34 Histogramy sedimentů s různým druhem symetrie	54
Obr. 35 Vzorkovací rám	56
Obr. 36 Volšovka na okraji Sušice	56
Obr. 37 Soutok Volšovky a Kepelského potoka – v horní části snímku je Volšovka, v levém dolním rohu je Kepelský potok	57
Obr. 38 Akumulace v blízkosti sejpů nedaleko Petrovic u Sušice	57
Obr. 39 Akumulace sedimentu Kepelského potoka a Volšovky	58

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Geomorfologické začlenění povodí Volšovky	20
Tab. 2 Charakteristiky klimatických regionů zahrnující Pstružný a Kepelský potok ...	23
Tab. 3 Zrnitostní klasifikace klastických sedimentů	27
Tab. 4 Dělení psefitů na základě velikosti	27
Tab. 5 Zrnitostní klasifikace podle Kopeckého	42
Tab. 6 Zrnitostní klasifikace klastických sedimentů	60
Tab. 7 Modus a medián snímků sedimentu Kepelského potoka	61
Tab. 8 Modus a medián snímků sedimentu Volšovky	62
Tab. 9 Zrnitost sedimentu Kepelského potoka [%]	63
Tab. 10 Zrnitost sedimentu Volšovky [%]	63
Tab. 11 Zrnitost Kepelského potoka	67
Tab. 12 Zrnitost Volšovky	67

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Zrnitost sedimentu Kepelského potoka [%]	65
Graf 2 Zrnitost sedimentu Volšovky [%]	66

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Průměrné hodnoty vybraných parametrů sedimentu Kepelského potoka

Příloha 2 Průměrné hodnoty vybraných parametrů sedimentu Volšovky

SEZNAM ZKRATEK

CSV	comma-separated values/hodnoty oddělené čárkami
CHKO	chráněná krajinná oblast
JPEG	joint photographic experts group
KÚ	katastrální úřad
ORP	obec s rozšířenou působností
PP	přírodní park

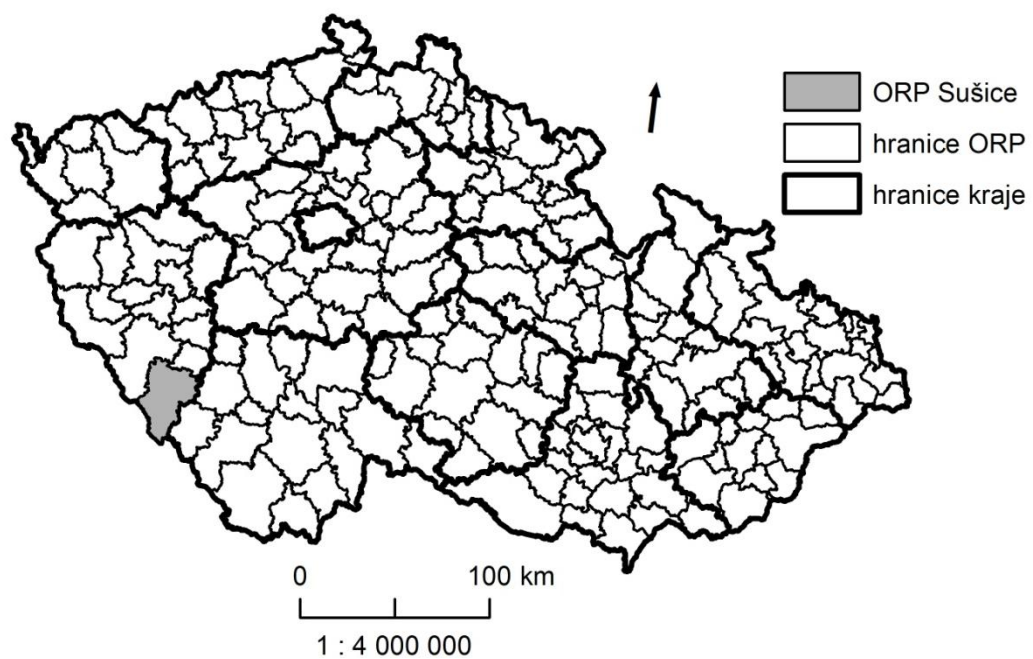
Ostatní zkratky jsou vysvětleny v textu.

1 ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá granulometrickou analýzou hrubě klastických sedimentů středohorských a podhorských toků. Práce se skládá ze dvou částí – rešeršní a experimentální. V teoretické části práce je shrnuta jednak fyzicko-geografická charakteristika zájmového území, jednak je provedena rešerše metod používaných k výzkumu zrnitosti fluvialních materiálů, zejména hrubě klastických. V experimentální části práce je aplikována metoda digitálního vzorkování hrubě klastických sedimentů na Kepelském potoce a části Volšovky. Získané snímky byly dále zpracovány v softwaru Sedimetrics Digital Gravelometer, výsledky byly statisticky vyhodnoceny a byla určena zrnitost akumulací hrubě klastických sedimentů v zájmovém území. Nakonec byly porovnány výsledky pro oba toky a shrnuta vhodnost a využitelnost metod a výhody a nevýhody metod. Cílem práce je shrnutí metod, které se používají k výzkumu zrnitosti fluvialních materiálů, a dále použití vybraných metod na dvou tocích a jejich následné porovnání.

1.1 Zájmové území

Zájmové území práce zahrnuje tok Volšovka neboli Pstružný potok od Chlumu po ústí do Otavy a levostranný přítok Volšovky, Kepelský potok. Tyto dvě zdrojnice Otavy byly vybrány pro porovnání s obdobně velkými již zpracovanými toky v okolí hlavního Šumavského svahu, Losenicí a Spůlkou. Většina zájmového území se nachází v Biosférické rezervaci Šumava a v PP Kochánov nedaleko CHKO Šumava. Administrativně se území řadí do oblasti Jihozápad, Plzeňského kraje, okresu Klatovy a ORP Sušice. Poloha ORP Sušice v České republice je znázorněna na obr. 1. Zkoumaný úsek Volšovky začíná ve vesnici Chlum (součást města Hartmanice), dále protéká vesnicí Světlá (součást Hartmanic), Jiřičná (součást obce Petrovice u Sušice), zprava míjí Petrovice u Sušice a zleva vesnici Trsice (součást Petrovic u Sušice). Tok dále protéká Františkovou Vsí (součást Petrovic u Sušice), zprava obtéká vesnici Dolní Staňkov (součást města Sušice), teče přes vesnici Volšovy (součást Sušice), vesnici Červené Dvorce (součást Sušice) a v Sušici se stéká s Otavou. Kepelský potok pramení nedaleko samoty Keply (součást Hartmanic), zleva obtéká vesnici Kochánov (součást Hartmanic) a osadu Dolní Kochánov (součást Petrovic u Sušice), dále míjí zleva vesnici Rovná (součást Petrovic u Sušice), protéká vesnicí Puchverk (součást obce Hlavňovice) a Vojetice a za nimi se v Petrovicích u Sušice vlévá do Volšovky.



Obr. 1 Poloha ORP Sušice, ve kterém se nachází potok Volšovka, v České republice
(zdroj: ArcČR 2014, autor)

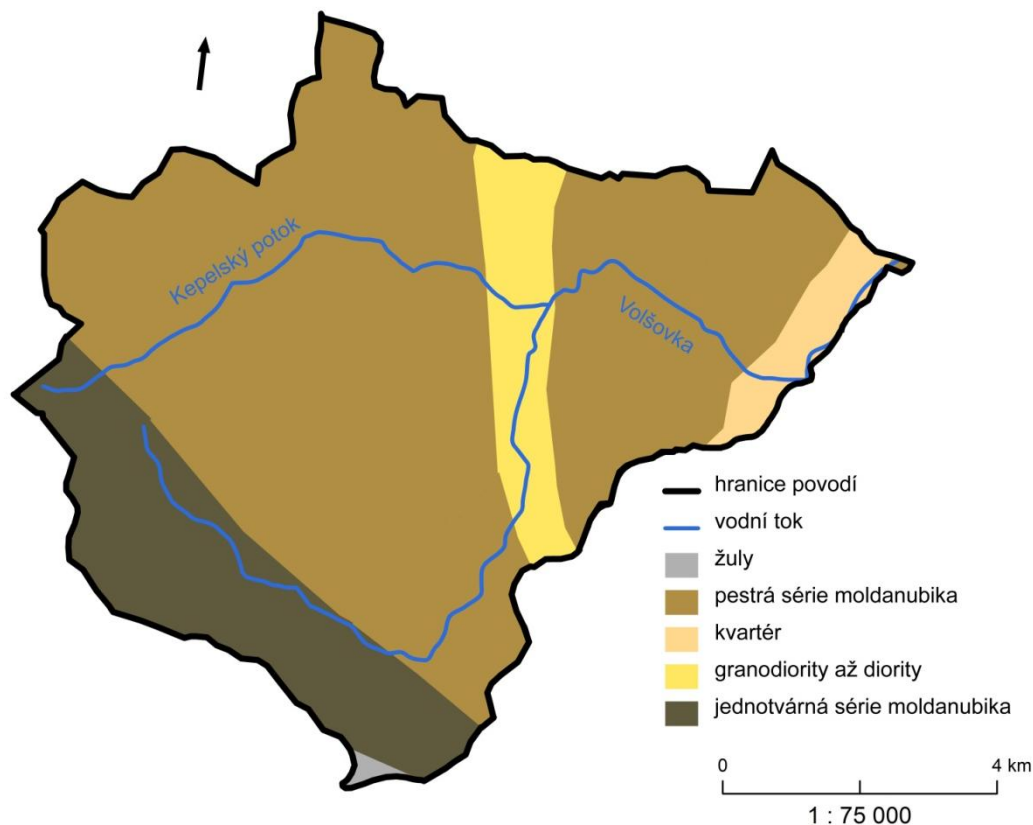
2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Fyzicko-geografická charakteristika zájmového území

2.1.1 Geologické a geomorfologické poměry a vývoj

Povodí Volšovky spadá do geologické jednotky Český masív a geologické oblasti moldanubikum (CENIA 2014). Moldanubikum je tvořeno, jak uvádí Chlupáč (2002), především silněji metamorfovanými, patrně převážně proterozoickými celky, kterými pronikají tělesa hlubinných žulových hornin (granitoidů). Metamorfované horniny moldanubika se dělí podle Chába a kol. (2008) do dvou jednotek, jednotvárné (ostronské) a pestré (drosendorfské).

Geologickou stavbu povodí Volšovky vystihuje obr. 2. Pramenná část Volšovky i přítoku Kepelský potok je tvořena starší jednotvárnou sérií moldanubika a obsahuje převážně biotitické pararuly, migmatity a svorové ruly. Migmatity vznikají, jak uvádí Dudek, Malkovský a Suk (1984), z úlomkovitých sedimentů v oblastech nejsilněji metamorfovaných. Od pararul se liší hlavně migmatitovými texturami. Migmatity mohou být až tak homogenní, že přecházejí do granitických hornin.



Obr. 2 Geologická stavba povodí Volšovky (zdroj: ArcČr 2014, autor, CENIA 2014, DIBAVOD 2014, 75% velikost originálu)

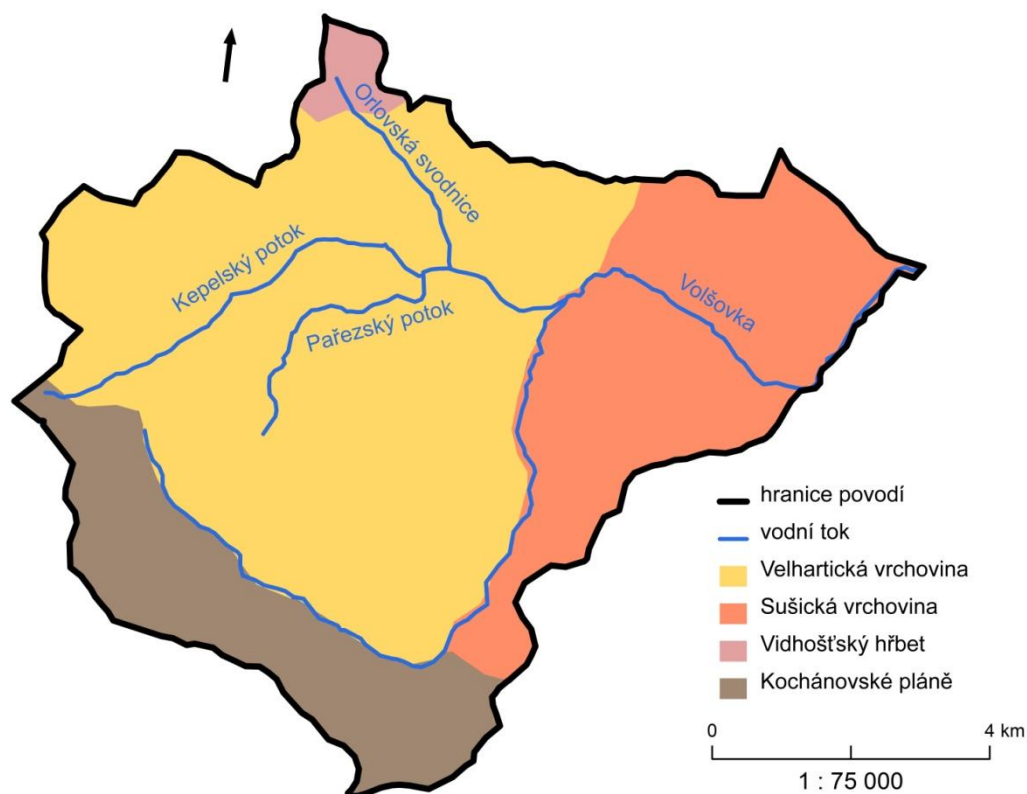
Dále protékají oba toky mladší pestrá série moldanubika, která je tvořena především pararulami, méně pak svorovými rulami a migmatity a na rozdíl od jednotvárné skupiny obsahuje mnoho vložek krystalických vápenců, dolomitů, erlánů, skarnů, eklogitů, kvarcitů, grafitů, křemenců a amfibolitů (Česká geologická služba 2014). Od Chlumu po soutok s Kepelským potokem teče Volšovka po granodioritech až dioritech, poté protéká opět pestrá série moldanubika a nakonec po kvartérních horninách – hlíny, spraše, písky, štěrky (CENIA 2014).

V tab. 1 a na obr. 3 je uvedeno zařazení povodí Volšovky do geomorfologického systému. Povodí náleží k celku Šumava a Šumavské podhůří. Téměř celé zájmové území náleží k podcelku Svatoborská vrchovina (CENIA 2014). Svatoborská vrchovina je podhorská krajina tektonického původu s velkými výškovými rozdíly, která vykazuje také strukturní vlivy (Bína a Demek 2012). Její střední výška činí 681 m n. m. Volšovka pramení ve Velhartické vrchovině a poté protéká střídavě Velhartickou vrchovinou a Kochánovskými pláněmi. Velhartická vrchovina stoupající od severu k jihu se podle Demka (1987) vyznačuje erozně-denudačním reliéfem s menšími zbytky zarovnaných povrchů. Kochánovské pláně jsou okrskem podcelku Šumavské pláně, které jsou rozsáhlým zbytkem starého zarovnaného povrchu, echtplénu, modelovaného koncem křídý a počátkem třetihor, jak uvádí Rubín a kol. (2006). Šumavské pláně s nejvyšším bodem Velkou Mokrou (1370 m n. m.) mají střední výšku 980 m n. m. a charakter vysoko položené, mírně zvlněné plošiny (Bína a Demek 2012). Od Chlumu po soutok s Kepelským potokem teče Pstružný potok střídavě Velhartickou vrchovinou a Sušickou vrchovinou a od soutoku Sušickou vrchovinou. Kepelský potok pramení v Kochánovských pláních, protéká Velhartickou vrchovinou a těsně před soutokem s Volšovkou vtéká do Sušické vrchoviny, již tvoří strukturně-denudační reliéf s četnými skalními tvary zvětrávání a odosu na vrcholech strukturních hřbetů (Demek 1987). Levostranný přítok Kepelského potoka – Orlovská svodnice – pramení v nejsevernějším výběžku povodí, v okrsku Vidhošťský hřbet (CENIA 2014). Digitální model terénu zájmového území je znázorněn na obr. 4. Pramen Volšovky se nachází v nadmořské výšce 914 m, Chlumem protéká potok v nadmořské výšce cca 600 m a ústí potoka do Otavy má nadmořskou výšku 473 m. Volšovka pramení východně od Kochánovského vrchu (1004 m n. m.) a západně od vrchu Kamenáč (989 m n. m.) ve Velhartické vrchovině, který je nejvyšším bodem Svatoborské vrchoviny (Bína a Demek 2012). Pramen Kepelského potoka se nachází v nadmořské výšce cca 930 m západně od Kochánovského vrchu. Severně od vrchu Na Zámku, který má 950 m n. m., pramení v nadmořské výšce 822 m Pařezský potok. Ten do Kepelského potoka ústí zprava v 575 m n. m. Druhým větším přítokem Kepelského potoka je Orlovská svodnice. Tento levostranný přítok má prameniště západně od vrchu Výrovna

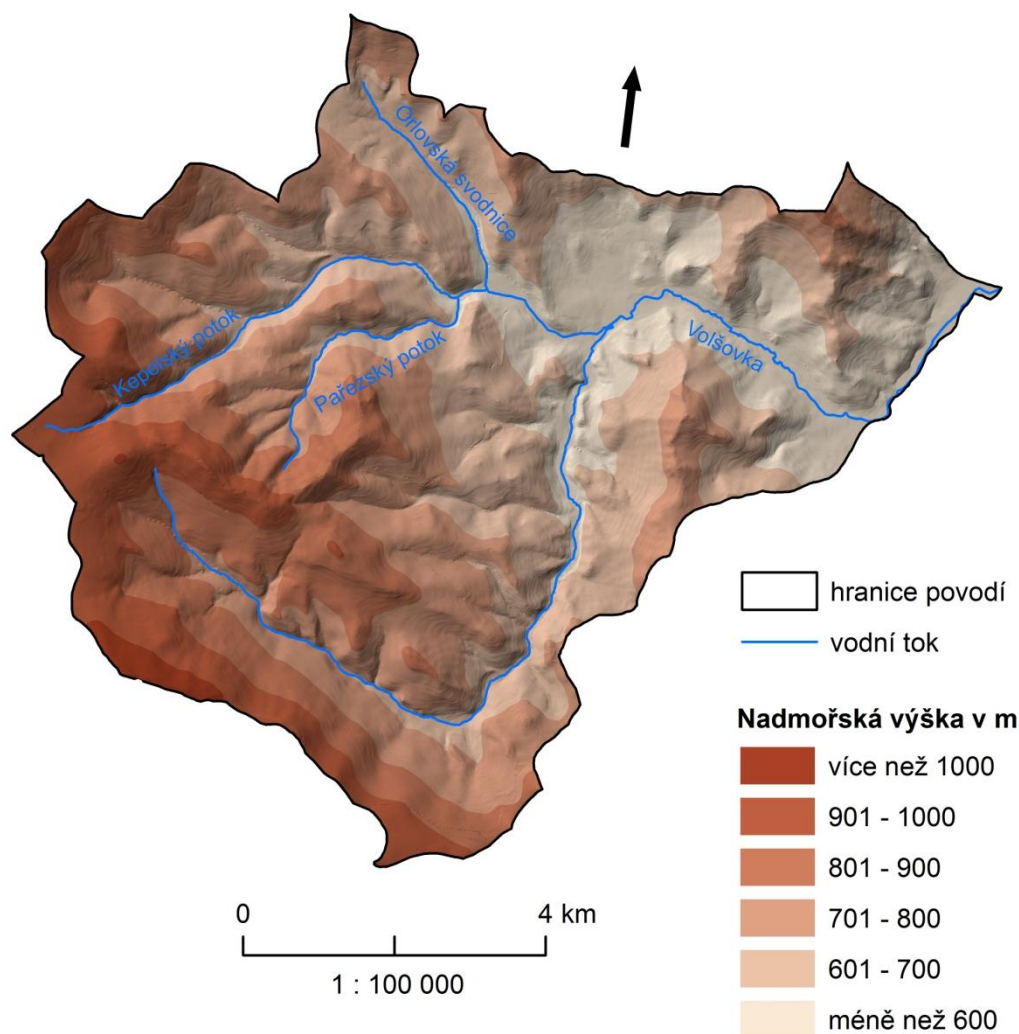
(720 m n. m.) v 660 m n. m. a do Kepelského potoka se vlévá v 567 m n. m. Kepelský potok ústí do Volšovky v cca 532 m n. m.

Tab. 1 Geomorfologické začlenění povodí Volšovky (zdroj: Bína a Demek 2012, CENIA 2014, upraveno)

Systém	Hercynský			
Subsystém	Hercynská pohoří			
Provincie	Česká vysočina			
Soustava	Šumavská			
Podsoustava	Šumavská hornatina			
Celek	Šumava	Šumavské podhůří		
Podcelek	Šumavské pláně	Svatoborská vrchovina		
Okrsek	Kochánovské pláně	Sušická vrchovina	Velhartická vrchovina	Vidhošťský hřbet



Obr. 3 Geomorfologické členění povodí Volšovky (zdroj: ArcČr 2014, autor, CENIA 2014, DIBAVOD 2014, 75% velikost originálu)



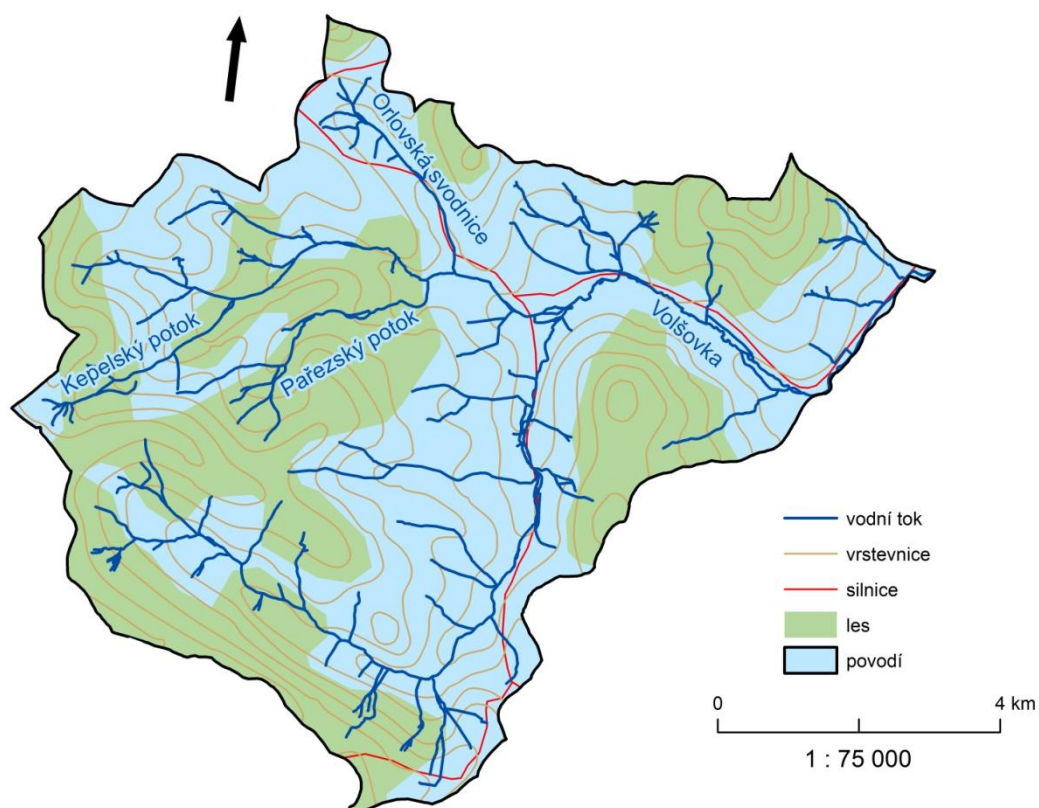
Obr. 4 Digitální model terénu povodí Vošovky (zdroj: ArcČr 2014, autor, CENIA 2014, DIBAVOD 2014, ZABAGED 2014)

Od svrchního kambria po střední devon se utvářel prostor pro vznik sedimentárních pánví (Ulrich a kol. 2014). Do těchto pánví byly ukládány horniny, které tvoří základ moldanubika. V prvohorách došlo v zájmovém území k variskému vrásnění a v neogénu začal výzdvih území, jak uvádí Petránek (2007). V kvartéru formovaly reliéf především tektonické pohyby a změny klimatu. V tomto období pokračoval celkový zdvih zájmového území. Dále vznikala hluboká údolí. Podél nich se utvářely říční terasy, kryoplanační terasy s izolovanými skálami, skalními hradbami a balvanovými moři a periglaciální úpatní povrchy – kryopedimenty (Demek 1987). Glaciály se střídaly s interglaciály. V dobách ledových na konci pleistocénu vznikly na Šumavě horské ledovce a v zájmovém území permafrost mocný více než 100 m. Vlivem ledovců se utvořily charakteristické kary. Na jejich dně vznikla po odtání ledu jezera. Vliv na utváření reliéfu mělo také usazování spraší větry vanoucími především od severozápadu. V holocénu spoluformují georeliéf také lidské technologické aktivity.

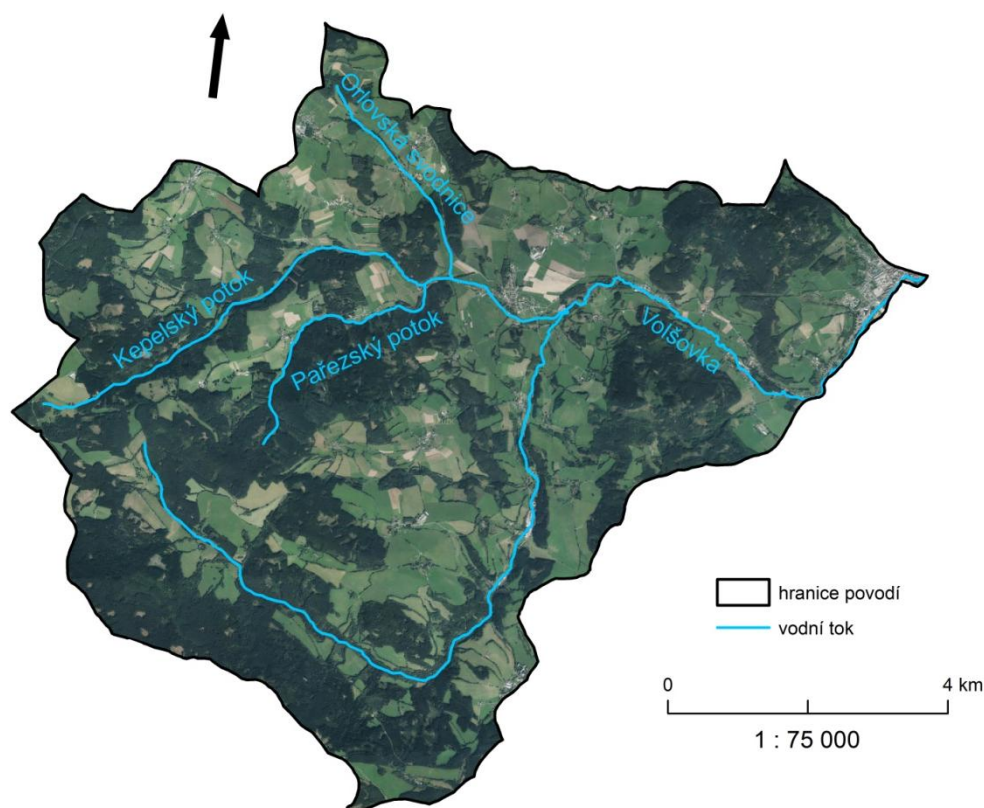
Svědectvím rýžování zlata jsou sejpy, které se vyskytují v okolí Volšovky (Bína a Demek 2012). Sejpy neboli hrubata jsou kopečky vyrýžovaného materiálu protáhlého nebo kupovitého tvaru, jejich délka se pohybuje do 8 m a výška od několika dm po 5 m.

2.1.2 Hydrologické poměry

Volšovka s číslem hydrologického pořadí 1-08-01-063 má délku 19,6 km. Studovaná část toku je dlouhá 11,1 km (CENIA 2014). Potok pramení v katastrálním území Kochánov II a náleží do povodí Horní Vltavy. Volšovka se zleva vlévá do Otavy. Tento vodní tok má mnoho přítoků, jak levostranných, tak pravostranných. Největším přítokem je Kepelský potok, který se do Volšovky vlévá v Petrovicích u Sušice. Kepelský potok pramení v katastrálním území Kochánov III. Potok s číslem hydrologického pořadí 1-08-01-058 má délku 8,9 km (CENIA 2014). V Petrovicích u Sušice se do Kepelského potoka vlévá nejdříve zprava 4,2 km dlouhý Pařezský potok a poté zleva Orlovská svodnice s délkou 3,35 km. Kepelský potok slouží za krizové situace k nouzovému zásobování užitkovou vodou Petrovic u Sušice, jak uvádí KÚ Plzeňského kraje (2009), a z této obce je také do Kepelského potoka systémem příkopů, struh a propustků částečně odváděna dešťová voda. Povodí Volšovky je na obr. 5. obr. 6 zobrazuje povodí na leteckém snímku.



Obr. 5 Povodí Volšovky (zdroj: ArcČr 2014, autor, CENIA 2014, DIBAVOD 2014, 75% velikost originálu)



Obr. 6 Povodí Volšovky na leteckém snímku (zdroj: ArcČr 2014, autor, CENIA 2014, DIBAVOD 2014, 75% velikost originálu)

2.1.3 Klimatické poměry

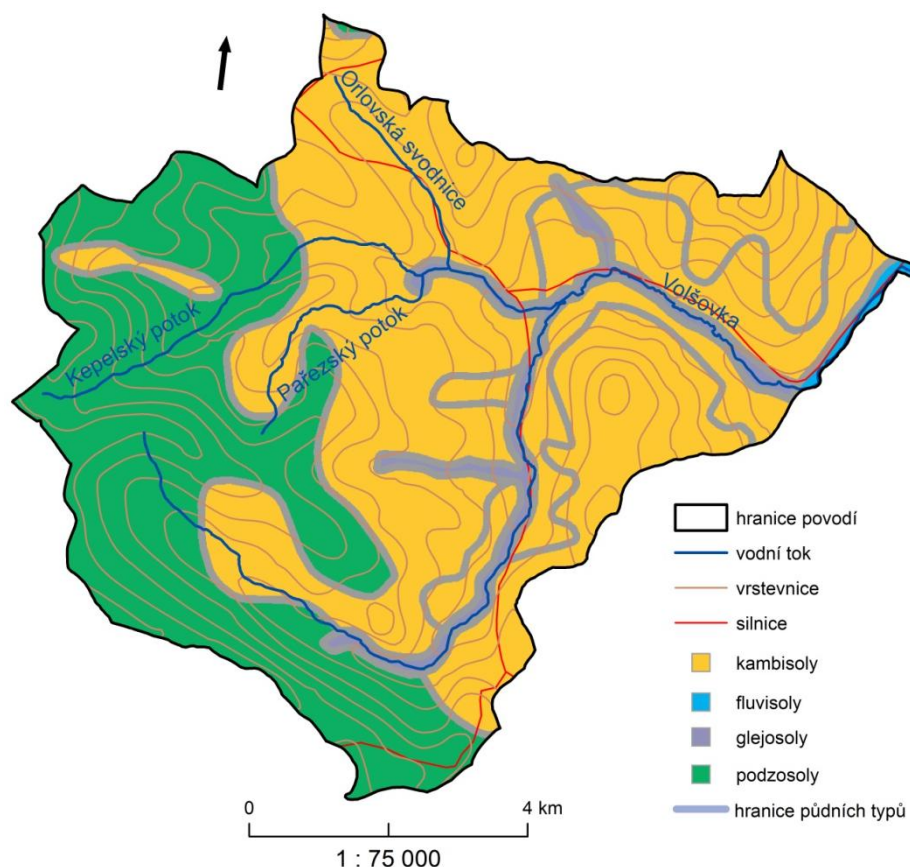
Podle SOWAC-GIS (2013) patří zájmové území do chladné oblasti. Téměř celé zájmové území spadá do mírně chladného, vlhkého klimatického regionu, pouze pramenná oblast Pstružného a Kepelského potoka náleží do klimatického regionu chladného, vlhkého. Charakteristiky těchto klimatických regionů jsou uvedeny v tab. 2. Množstvím srážek se území řadí do oblasti s vlhkým podnebím. Na místní poměry má vliv především nadmořská výška. S rostoucí nadmořskou výškou klesá teplota a roste vlhkost vzduchu. Značný vliv na klima má i členitost reliéfu a charakter aktivního povrchu (Zahradnický a kol. 2004)

Tab. 2 Charakteristiky klimatických regionů zahrnující Pstružný a Kepelský potok (zdroj: Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb. (1998), upraveno)

Region	Chladný, vlhký	Mírně chladný, vlhký
Suma teplot nad 10 °C	pod 2000	2000-2200
Průměrná roční teplota [°C]	<5	5-6
Průměrný roční úhrn srážek [mm]	>800	700-800
Pravděpodobnost suchých vegetačních období [%]	0	0-5
Vláhová jistota	>10	>10

2.1.4 Pedogeografické poměry

V blízkosti Volšovky najdeme podle klasifikace World Reference Base of Soils referenční třídu glejosoly s půdním typem glej fluvický, jak uvádí CENIA (2014). V nejnižších polohách při ústí potoka do Otavy se vyskytuje fluvizem glejová. Glejosoly, půdy vyskytující se v nivách vodních toků a zamokřených úpadech, i fluvisoly byly původně pokryty lužními lesy (Tomášek 2007). Okolí potoka je tvořeno kambisoly (hnědými půdami), převážně kambizemí dystrickou, v nižších polohách i kambizemí kyselou a kambizemí oglejenou kyselou. Pramen Pařezského potoka, pramen Kepelského potoka a první polovina jeho toku protéká po podzoselech, konkrétně po kryptopodzolu modálním. Typy půd ukazuje obr. 7.



Obr. 7 Typy půd v povodí Volšovky (zdroj: ArcČr 2014, autor, CENIA 2014, DIBAVOD 2014, 75% velikost originálu)

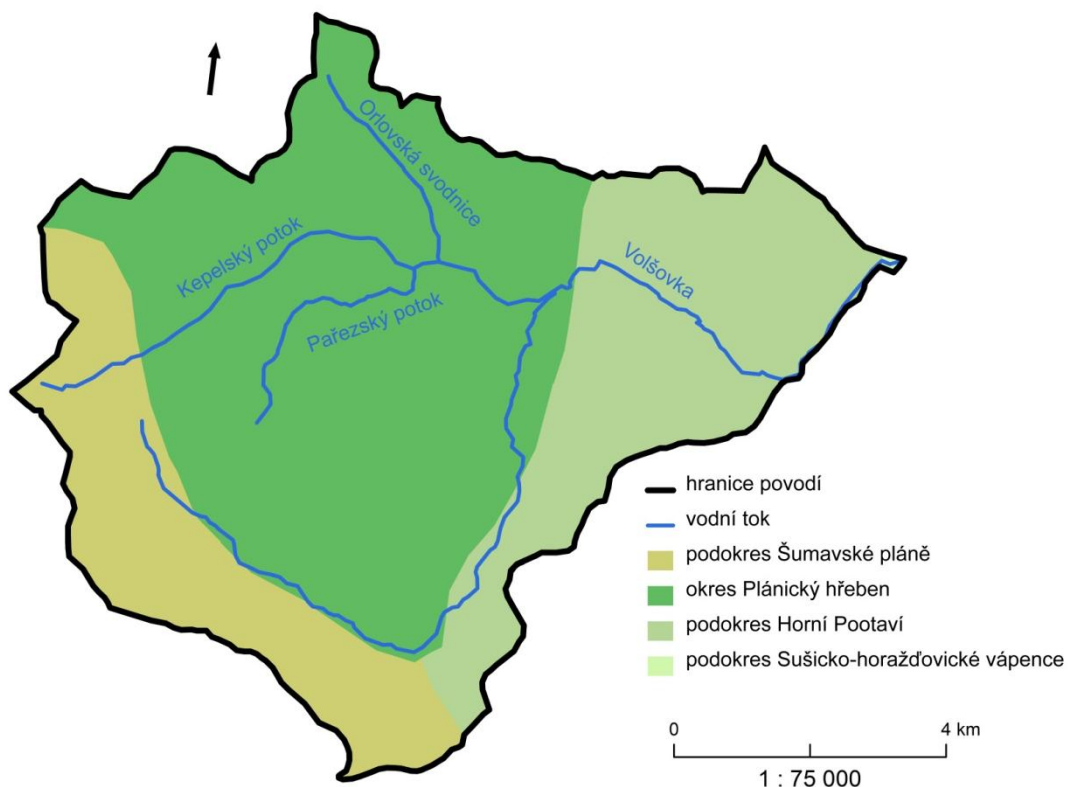
V tocích a okolo nich se nacházejí fluvialní sedimenty. Fluvialní sedimenty jsou definovány jako uloženiny klastického materiálu, které jsou transportované a ukládané tekoucí vodou (Růžicková a kol. 2003). Fluvialní sedimenty reprezentují periodické sedimentační události související s povodněmi. Sedimenty se ukládají v korytě vodního toku nebo na povrchu nivy. V říčním korytě se usazují částice jílu až štěrku, v nivě převažuje ukládání jílu a prachu. Kolem vodních toků se často nacházejí říční terasy, které jsou tvořeny erozními zbytky fluvialních sedimentů převážně z období glaciálů.

K transportu fluvialního materiálu dochází prouděním vody, nejčastěji trakcí, saltací nebo v suspenzi. Toky nejčastěji erodují, transportují i ukládají sedimenty během povodní. Směrem po proudu se zvětšuje stupeň zaoblení, zvyšuje sféricita a zmenšuje velikost transportovaných částic. Hlavní zdrojovou oblastí sedimentů je horní tok. Převládá na něm vodní eroze a na dně se ukládají hrubozrnné až balvanité písčité štěrky. Na středním toku je většinou stejná intenzita eroze a akumulace a dolní tok se vyznačuje zvýšenou akumulací.

2.1.5 Biogeografické poměry

Zájmové území leží nedaleko CHKO Šumava. Volšovka v CHKO pramení a dále jím protéká, úsek od Chlumu ale do tohoto území již nepatří. Téměř celé území, mimo pramen Orlovské svodnice a závěrečné části Volšovky, je součástí Biosférické rezervace Šumava a PP Kochánov. Regionální rozvojová agentura Šumava o. p. s. (2014) charakterizuje Biosférickou rezervaci Šumava jako „lesnaté území s jedinečným nerušeně se vyvíjejícím biologickým společenstvem“. Na jejím území je vyhlášeno velké množství přírodních rezervací a chráněných území. Rezervace byla vyhlášena 27.3.1990 k ochraně lesů, luk, jezer a řek v typických podmínkách evropských středohor. Toto území má rozlohu 1670 km² (Rubín a kol. 2006). PP Kochánov o rozloze 8 259 ha byl vyhlášen v roce 1985, jak uvádí Zahradnický a kol. (2004). Nedaleko prameniště Kepelského potoka v katastrálním území Kochánov III - Zhůří se nachází Přírodní rezervace Kepelské mokřady. Tato rezervace o výměře 68 ha je tvořena vrchovišti a podmáčenými loukami a vyskytují se v ní kriticky ohrožené druhy rostlin a čolek horský.

Dle fytoogeografického hlediska náleží povodí do květenných společenstev Evropy, do evropské oblasti a středoevropské podoblasti. Volšovka, stejně jako Kepelský potok, pramení podle CENIA (2014) ve fytoogeografické oblasti Oreofytikum, neboli extrazonální chladnomilné horské květeně, v obvodu České Oreofytikum, okrese Šumava a podokrese Šumavské pláně (viz obr. 8). V Chlumu patří Volšovka do oblasti zónální středoevropské vegetace a květeny, která je charakterizovaná převažujícími opadavými lesy (Ložek 2007) – Mezofytika – obvodu Českomoravské Mezofytikum, okresu Šumavsko-novohradské podhůří a podokresu Horní Pootaví. Následně potok protéká okresem Plánický hřeben, do kterého spadá také většina Kepelského potoka. Po soutoku s Kepelským potokem teče Volšovka podokresem Horní Pootaví a při ústí do Otavy podokresem Sušicko-horažďovické vápence.



Obr. 8 Fytogeografické členění povodí Volšovky (zdroj: ArcČr 2014, autor, CENIA 2014, DIBAVOD 2014, 75% velikost originálu)

Na základě členění krajiny podle reliéfu řadíme Volšovku u Chlumu k vrchovinám Hercynia a za ním ke krajinám výrazných svahů a skalnatých horských hřbetů (CENIA 2014). Prameniště Kepelského potoka patří k typu vysoko položených plošin, většina toku spadá do krajin výrazných svahů a skalnatých horských hřbetů. Oblast soutoku Volšovky s Kepelským potokem patří k vrchovinám Hercynia, dále protéká Pstružný potok po krajinách výrazných svahů a skalnatých horských hřbetů a závěrečná část toku spadá opět do vrchovin Hercynia.

Potenciální přirozenou vegetací je v pramenné oblasti Kepelského potoka smrková bučina, další úsek potoka je tvořen bučinou s kyčelní devítilistou. Následně potok protéká bikovou a jedlovou doubravou, která je také zastoupena na většině toku Volšovky. Dolní tok Volšovky spadá do oblasti střemchové doubravy a olšiny (CENIA 2014).

2.2 Metody používané k výzkumu zrnitosti fluvialních materiálů

2.2.1 Přehled metod

Nejdříve budou představeny jednotlivé metody, které se používají ke stanovení zrnitosti fluvialních materiálů. Bude definována zrnitost a představeny klastické sedimenty, především hrubozrnné. Po odebrání vzorků budou shrnuty metody zrnitostního rozboru, následně analyzovány parametry zrnitosti a nakonec bude uvedeno statistické zpracování zrnitosti.

Zrnitost je podle Petránka (2007) definována jako velikost minerálních zrn v horninách všeho druhu. Znalost zrnitosti je základem pro klasifikaci klastických sedimentárních hornin.

Klastické neboli úlomkovité sedimenty jsou sedimentární horniny složené z úlomků předchozích hornin transportovaných na místo sedimentace v pevném stavu (Zimák 2005). Jejich velikost se pohybuje od prachu až po hrubou suť, jak uvádí Ložek (2007). Podle zrnitosti můžeme klastické sedimenty rozlišit na pelity, aleurity, psamity a psefity (Skupien a Vašíček 2008), jak ukazuje tab. 3.

Tab. 3 Zrnitostní klasifikace klastických sedimentů (zdroj: Skupien a Vašíček 2008, upraveno)

Částice	Velikost zrna [mm]
pelity	menší než 0,004
aleurity	0,004 – 0,063
psamity	0,063 – 2
psefity	větší než 2

Hrubě klastické sedimenty se nazývají psefity. V psefitech převažují částice o velikosti větší než 2 mm. Podle velikosti se psefity dále dělí (viz tab. 4). Sedimenty se mohou členit také na základě soudržnosti na zpevněné a nezpevněné, jak uvádí Skupien a Vašíček (2008). Mezi zpevněné hrubě klastické sedimenty patří slepenec, brekie a tillit a nezpevněné hrubé klasty jsou štěrk, suť a till.

Tab. 4 Dělení psefitů na základě velikosti (zdroj: Skupien a Vašíček 2008, upraveno)

Psefity	Velikost zrna [mm]
drobné valouny	2 – 10
střední valouny	10 – 50
hrubé valouny	50 – 250
balvany	větší než 250

Aby mohla být určena zrnitost sedimentu, musí být odebrán jeho vzorek. Odběry vzorků sedimentu v terénu se provádějí několika metodami. Tyto metody jsou popsány v následující kapitole.

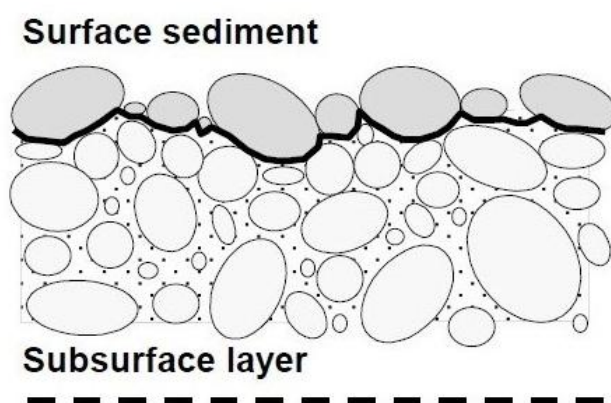
2.2.2 Metody odběru vzorků sedimentu

Pro odběr vzorků materiálu z říčních koryt existují podle Bunte a Abt (2001) dva rozdílné přístupy – vzorkování povrchu a vzorkování objemu.

Detailní postup každé metody závisí na mnoha přírodních faktorech, jako je velikost a morfologie vodního toku, průtokové podmínky a rozdělení velikosti částic materiálu v korytě. Zařízení pro odběr vzorků musí být zvoleno adekvátně k velikosti částic materiálu v korytě, a pokud není vodní tok přístupný ze silnice, musí být použito přenosné zařízení. V některých oblastech je vyžadováno odebírat vzorky nedestruktivním způsobem. Při odebírání vzorků pod vodou musí být počítáno se špatnou viditelností koryta a jemnými částicemi, které jsou obvykle odnášeny proudem. Důležitou roli hrají také faktory vytvořené člověkem. Pokud není v terénu dostatečné množství času na odebírání vzorků, může být zvolena metoda, která spočívá především v analyzování vzorků nebo fotografií koryta v laboratoři. Cíl studie nebo podmínky koryta vodního toku mohou vyžadovat použití několika různých metod, které by měly být zvoleny tak, aby usnadnily srovnávání nebo kombinace výsledků vzorkování.

2.2.2.1 Vzorkování povrchu

Povrchové vzorky shromažďují částice, které jsou na povrchu. Na tom, zda je povrch suchý nebo vyplněný vodou, nezáleží. Vertikální rozměr povrchu sedimentu je roven průměru jedné částice, tedy částice, která je v daném okamžiku vystavena na povrchu koryta (viz obr. 9), jak uvádí Bunte a Abt (2001).



Obr. 9 Umístění povrchového sedimentu (zdroj: Bunte and Abt 2001, upraveno)

Jelikož není vertikální rozměr vždy zřetelný, mohou být povrchové částice vzorkovány pouze technikami povrchových odběrů vzorků. Většina povrchových částic je snadno identifikovatelná. Problém však nastává, když jsou malé částice obklopeny velkými, a také když jsou částice částečně odkryty nebo skryty pod okolními částicemi. Z povrchu koryta může být sediment odebrán třemi odlišnými metodami – měřením v linii, měřením v mřížce a plošným měřením.

2.2.2.1.1 Měření v linii

V této metodě se podle Bunte a Abt (2001) vybere předem zvolený počet povrchových částic v přibližně stejných intervalech podél transektů, které mohou být paralelní a zahrnují poměrně velkou oblast odběru vzorků (cca 100 m²). Metoda se zaměřuje na střední a velké částice, je vhodná pro vzorkování štěrkovitých koryt. Nevýhodou metody jsou chyby, které mohou vznikat především kvůli tendenci sbírat větší částice, jak uvádí Škarpich a kol. (2010). Vzorkované velikosti částic jsou srovnatelné a kombinovatelné s velikostmi částic z měření v mřížce a objemového vzorkování. Tato metoda má dva způsoby – heel-to-toe sampling a systematické vzorkování podél pásky. Výsledky metod se mohou značně lišit.

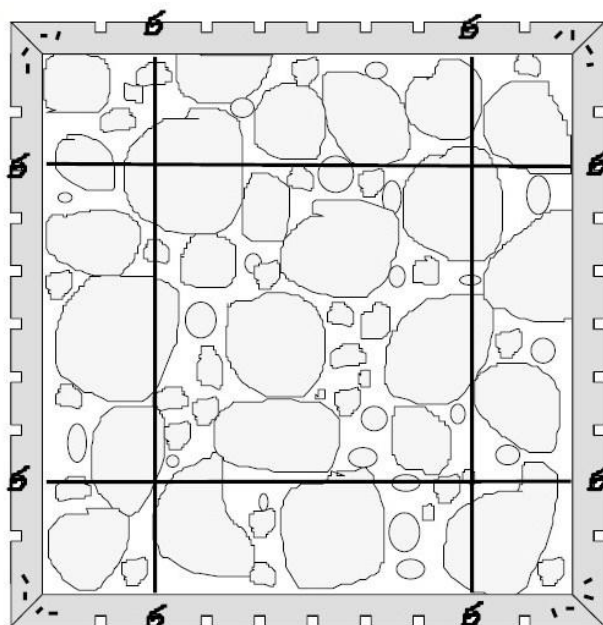
Metoda heel-to-toe sampling spočívá v tom, že člověk prochází povrch koryta podél mřížkové šablony (Bunte a Abt 2001). Mřížka může být založena na krokování nebo složena z linek nebo pásek. Postup odběru vzorků není předem stanovený a záleží na uvážení odběratele. Částice jsou vybrány náhodně u každého bodu mřížky. Metoda je velmi populární, jelikož nevyžaduje speciální vybavení k poskládání mřížky. Systematičtější způsob odběru vzorků materiálu z koryta metodou měření v linii je natáhnout měřicí pásku v několika transektech napříč vybranou oblastí. Částice se vyberou u okraje pásky tam, kde se kříží značky. Vzdálenost mezi částicemi závisí na velikosti částic a je nastavena na hodnotu větší než délka osy *b* nejhrubší částice. Heel-to-toe sampling umožňuje osobě větší volnost při výběru částic, vzdálenosti mezi částicemi a způsobu odběru vzorků než metoda systematického vzorkování podél pásky, která má předem dané intervaly podél měřicí pásky. Variabilita mezi jednotlivými osobami a vzorky je vyšší u metody heel-to-toe sampling.

2.2.2.1.2 Měření v mřížce

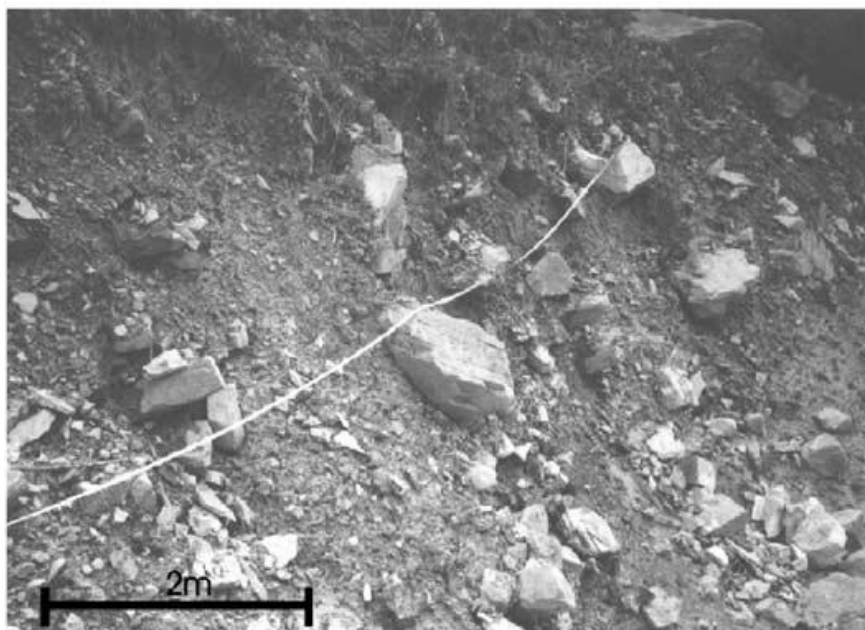
Metoda měření v mřížce se podle Bunte a Abt (2001) provádí buď v terénu výběrem částic pod mřížkou, anebo se daná oblast pouze vyfotografuje a získaná data se dále zpracovávají v laboratoři. Dané metody se používají pro poměrně malé oblasti (cca 1 – 10 m²) štěrkovitých koryt. Pokud je mřížka rovnoměrně rozmístěná, může

měření v mřížce pokrývat oblast libovolného tvaru. Nejmenší jednotka mřížky je určena nejhrubší částicí. Otvary mřížky by měly mít alespoň velikost nejhrubší částice, v lepším případě její dvojnásobek. Vzorkované velikosti částic jsou srovnatelné a kombinovatelné s velikostmi částic z měření v linii a ze vzorkování objemu.

Částice mohou být odebrány pod mřížkou, která se umístí přímo na povrch koryta toku. V podstatě se jedná o měření v linii. Mřížka se může skládat např. z elastických proužků natažených přes pevný rám (viz obr. 10). Můžeme použít také měřicí pásku (viz obr. 11) Ta se natáhne napříč oblastí, kde má být odebrán vzorek, aby bylo možné určit pravidelně rozmístěné body mřížky (Casagli, Ermini a Rosati 2003). Vzdálenost mezi body by měla být vybrána na základě délky osy b nejhrubší částice. Na jednu částici by neměly spadat dva body mřížky nebo by měla být částice započítána dvakrát.



Obr. 10 Mřížka k měření částic (zdroj: Bunte a Abt 2001, upraveno)



Obr. 11 Měřicí páska (zdroj: Casagli, Ermini a Rosati 2003, upraveno)

Druhou formou měření v mřížce je digitální snímkování povrchu sedimentu a následné měření velikostí částic pod mřížkou položenou na fotografii. Tato metoda usnadňuje měření i vyhodnocování dat zrnitostního složení povrchové vrstvy sedimentu, jak uvádí Galia, Hradecký a Škarpich (2012). K měření můžeme použít pravítko, případně povrch sedimentu změřit planimetricky. Zrna skeletu můžeme změřit také pomocí programu Sedimetrics Digital Gravelometer. Tento software je popsán v textu níže.

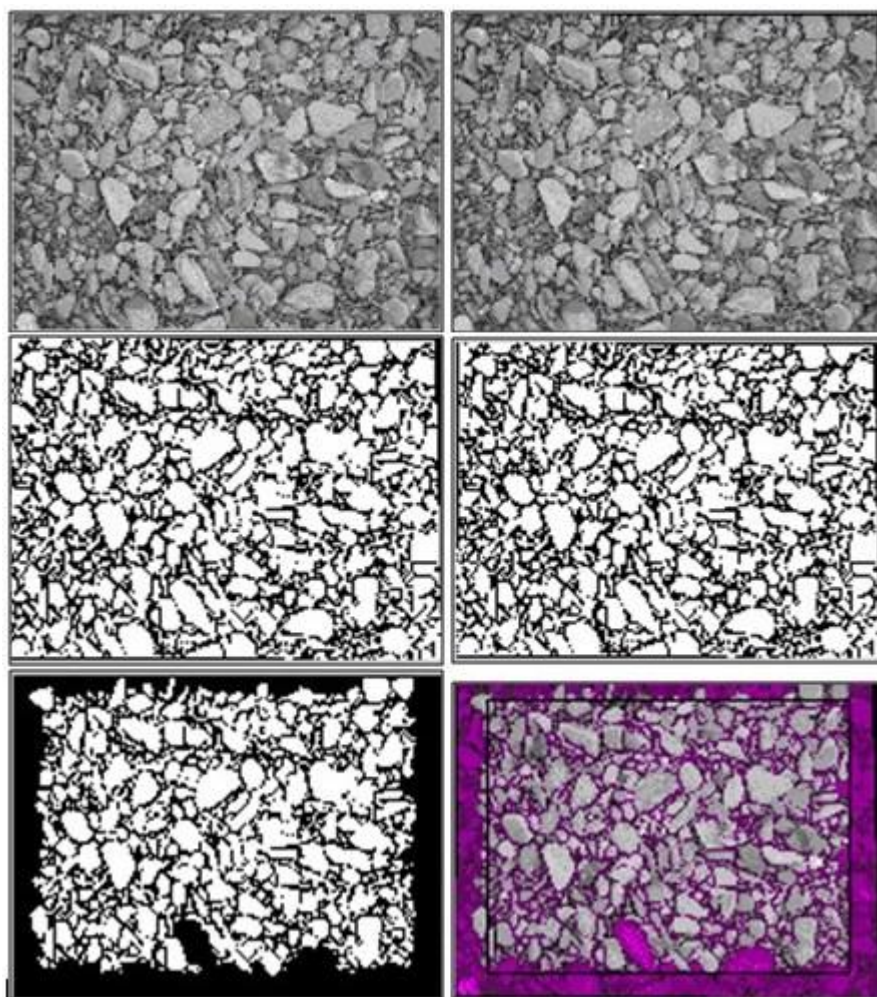
2.2.2.1.3 Sedimetrics Digital Gravelometer

Software Sedimetrics Digital Gravelometer, který byl vyvinut ve velké Británii, řadíme mezi metody vzorkující povrch. Tento software zároveň statisticky zpracovává data. Je dobré polít částice vodou, zvýší se tím kontrast barev na fotografii (Bunte a Abt 2001). Mezi výhody metody patří podle Casagli, Ermini a Rosati (2003) to, že výběr zrn není ovlivněn uživatelem a minimální čas strávený v terénu. Fotografická technika nemůže být použita pro oblasti větší než 8 m². Další výhodou této metody je zachování prostorových vztahů mezi částicemi, jak uvádí Juo a Yang (2001). Nevýhodou může být omezení velikosti měřeného zrna kvůli nedostatečnému rozlišení fotoaparátu a také menší přesnost než při použití měřicí pásky, reprezentativních výsledků dosáhneme pouze u částic středních velikostí. Další nevýhodou je měření pouze hrubších frakcí. Rozdělení velikosti částic musí být před srovnáváním s jinými vzorky konvertováno (Bunte a Abt 2001). Tato metoda je vhodná tam, kde nesmí být poškozeno koryto vodního toku.

Program Sedimetrics Digital Gravelometer se vyskytuje v placené verzi a také ve zkušební 21denní verzi. Software lze stáhnout z webových stránek www.sedimetrics.com.

Prvním krokem je vytvoření nového projektu, do kterého se následně nahrají původní barevné snímky odebrané v terénu. Dále se provádí identifikace kontrolních bodů. Každý snímek obsahuje čtyři kontrolní body. Jejich rozmístěním na fotografii se vymezí oblast pro další zpracování.

Následujícím krokem je měření velikosti zrn. Zrna se mohou měřit jednotlivě nebo všechna najednou. Při měření zrn lze nastavit, které z fází (snímek ve stupních šedi, transformovaný snímek – tj. snímek ve stupních šedi po korekci radiálního zkreslení objektivu, počáteční segmentace – černobílý snímek, rozhodující segmentace – černobílý snímek, konečný výběr zrn na snímku a snímek ve stupních šedi překrytý vrstvou vybraných zrn) měření zrn chce uživatel uložit jako obrazový soubor. Tyto fáze jsou zobrazeny na obr. 12. Barevný snímek je nejprve převeden na stupně šedi. Dále může být opraveno radiální zkreslení objektivu a také mohou být opraveny osy digitálního fotoaparátu, v případě, že nejsou umístěny dokonale vertikálně na středu vymezené oblasti. V dalším kroku jsou identifikována jednotlivá zrna na snímku. Snímek ve stupních šedi je převeden na binární, tj. černobílý snímek. Bílou barvou jsou znázorněny částice a černá barva představuje mezery mezi částicemi. Následně jsou v oblasti definované kontrolními body vybrána zrna pro měření, snímek je stále černobílý. Dalším krokem je měření vybraných zrn. V případě potřeby může uživatel provést opravu výsledků tak, aby byly srovnatelné se čtvercovými otvory síta.



Obr. 12 Fáze měření zrn: vlevo nahoře – snímek ve stupních šedi, vpravo nahoře – transformovaný snímek, vlevo uprostřed – počáteční segmentace, vpravo uprostřed – rozhodující segmentace, vlevo dole – konečný výběr zrn na snímku, vpravo dole – snímek ve stupních šedi překrytý vybranými zrný (zdroj: Sedimetrics 2014, upraveno)

Po změření zrn může být generován report s informacemi o rozdělení velikosti zrn na každém snímku. Může být generována individuální nebo souhrnná analýza. V reportu jsou uvedeny obecné informace o projektu a o snímku, o zpracování snímku a o velikosti zrn na snímku. Kromě podrobné zprávy o rozdělení velikosti zrn na snímku můžeme ze softwaru do jiných aplikací exportovat i nezpracovaná data ve formátu CSV. Data obsahují tyto parametry částice – délka osy b , délka osy a , plocha částice, ekvivalentní průměr, orientace, excentricita a čtvercový otvor síta opravený délkou osy b .

2.2.2.1.4 Plošné měření

Tato metoda zahrnuje všechny povrchové částice, které jsou obsaženy uvnitř malé předem zvolené oblasti ($0,1 - 1 \text{ m}^2$), jak uvádí Bunte a Abt (2001). Aby se zjistilo, zda

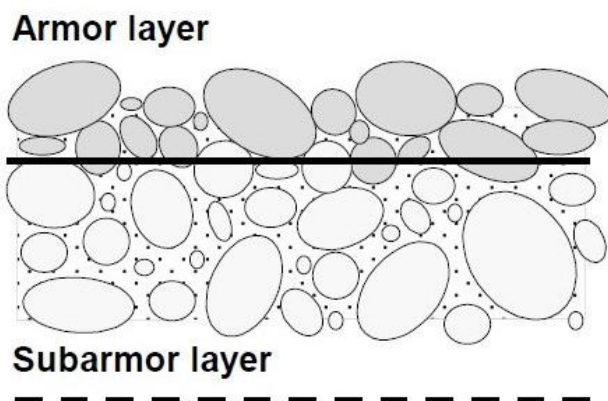
jsou malé částice reprezentativně zahrnuty ve vzorku, používá se většinou adhezivum. Metoda se používá pro vzorkování koryt z písku a středního štěrku. Pro plošné měření je potřeba pracovat jak v terénu, tak i v laboratoři kvůli analýze síťování. Vzorkované velikosti částic nejsou přímo srovnatelné a kombinovatelné s velikostmi částic z měření v linii, měření v mřížce ani vzorkování objemu. Pro odběr částic existuje několik rozdílných metod – ruční sbírání, zvedání a škrábání; adheziva a nedestruktivní metody (fotografické vzorkování, vizuální odhad a voskové otisky). Každá z těchto metod zahrnuje odlišný podíl malých částic částečně skrytých pod velkými klasty.

Ruční sbírání, zvedání a škrábání se používá pro odběr částic z koryt tvořených hrubým štěrkem. Nejdříve se vyznačí oblast odběru vzorků a poté se uvnitř ní posbírají povrchové částice. Problémem jsou nejmenší částice – jsou špatně viditelné, bývají částečně skryty, je obtížné odebrat je z míst mezi velkými částicemi, není snadné zařadit je do povrchového nebo podpovrchového sedimentu. Nejdříve by měly být odebrány nejmenší částice a až poté větší částice z důvodu zahrnutí pouze povrchových zrn. Některé malé skryté povrchové částice mohou být touto metodou vynechány. Problém v odlišení povrchových částic od podpovrchových je ještě zvětšen, pokud jsou částice odebírány pod vodou.

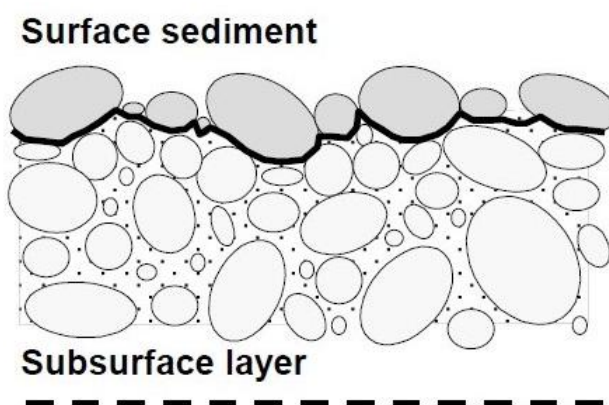
Metody využívající adheziva jsou vhodné pro štěrkovitá koryta a to zejména pro koryta, která obsahují relativně velké množství písku nebo jemného štěrku. Částice se odebírají tak, že se na povrch sedimentu přitiskne deska pokrytá adhezivem. Adhezivum proniká povrchem sedimentu a dotýká se jak velkých, tak i malých povrchových částic. Po vyjmutí desky jsou na ní částice přichyceny. Aby mohla být analyzována velikost částic, musí být částice od desky odděleny. Toho může být dosaženo rozpuštěním adheziva nebo broušením a odškrábáním částice od desky. Jako adhezivum se používají různé substance – univerzální lepidlo, epoxidová pryskyřice, bahno, jíl, mýdlo, tuk, vosk, tmel nebo pasta z mouky. Většina adheziv drží pouze na suchém povrchu.

2.2.2.2 Vzorkování objemu

Metodou vzorkování objemu se odebírá předem zvolený objem nebo hmotnost sedimentu z koryta vodního toku (Bunte a Abt 2001). Objemové vzorky jsou trojrozměrné a mohou být odebrány z různých vrstev sedimentu (viz obr. 13 a obr. 14) – z vyztužené vrstvy, polovyztužené vrstvy, podpovrchového sedimentu nebo nestratifikované vrstvy sedimentu.



Obr. 13 Stratigrafie koryta rozlišeného mezi vyztuženou a polovyztuženou vrstvou (zdroj: Bunte a Abt 2001, upraveno)



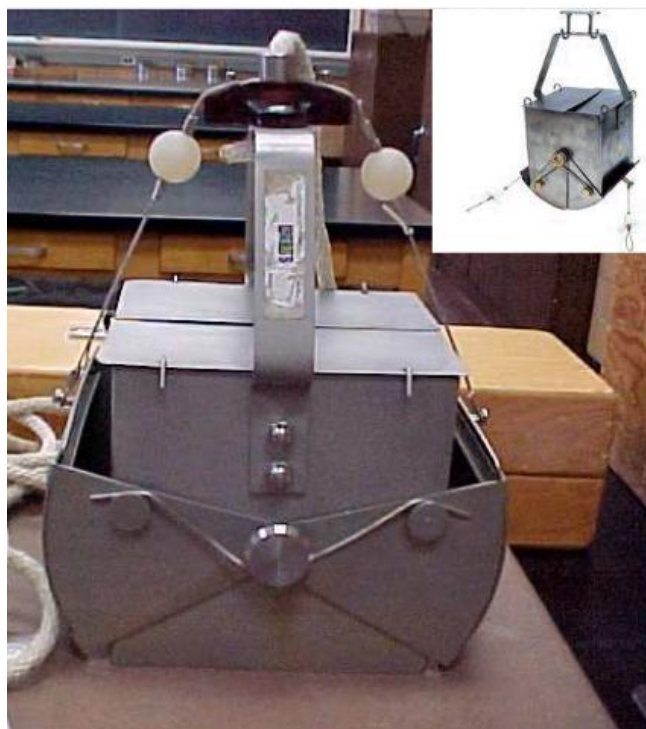
Obr. 14 Stratigrafie koryta rozlišeného mezi povrchoým a podpovrchovým sedimentem (zdroj: Bunte a Abt 2001, upraveno)

Materiál v korytě by měl být odebírán při co nejnižších průtocích, kdy je odkryta velká část koryta. Pokud jsou vzorky odebírány v suchém korytě, není potřeba žádné speciální vybavení. Vzorky z vyztuženého, podpovrchového a nestratifikovaného sedimentu se často odebírají pod vodou.

Pro odběr sedimentů se používá různé vybavení – lopaty, rýče, lopatky, lžíce, sudy, sítě, drapákové (bagry), jádrové (trubicové) nebo zmrazovací vzorkovače a další. Většina zařízení pro odběr vzorků sedimentu má pevně stanovené objemy. Objem jednoho vzorku může být mnohem menší, než kolik je vyžadováno pro celkovou hmotnost vzorku. Proto musí být kombinováno několik dílčích vzorků (Wolcott a Church 1991; Rood a Church 1994, cit. v Bunte a Abt 2001).

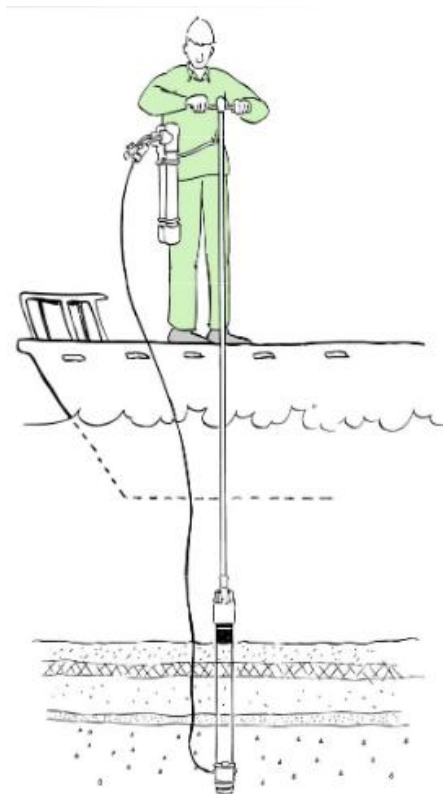
Drapákové vzorkovače se používají k odběru povrchového vzorku šterku, písku a zpevněného bahnitého sedimentu, jak uvádí Bláha a kol. (2006). Vzorkovač se skládá ze dvou čelistí, v manipulační poloze otevřených a zajištěných pojistkou, a lanka, na kterém je uchycen a spouštěn na dno koryta. Drapákový odběrák dokáže získat vzorek sedimentu z definované plochy a odebrat dostatečně velký vzorek.

Metodu nelze použít k odběru neporušeného vzorku. Další nevýhodou je odběr pouze povrchového vzorku. Existují různé typy drapákových odběráků, např. Ekmanův (viz obr. 15) nebo Petersenův drapák.



Obr. 15 Ekmanův drapákový vzorkovač (zdroj: *Metody sledování terestrických a bentických organismů, upraveno*)

Jádrové neboli trubicové vzorkovače jsou vhodné k odebrání písku, jílu a zpevněného i nezpevněného bahnatého sedimentu pod hladinou (Bláha a kol. 2006). Vzorkovač odebírá neporušený vzorek sedimentu z konkrétní polohy. Jádrové sondy jsou různých typů, nejznámější je pístový vzorkovač uvedený na obr. 16. Pístový vzorkovač tvoří trubice, kterou prochází píst ovládaný lankem nebo tyčkou. Ten při odběru sedimentu zajišťuje podtlak na vzorek a redukuje riziko uvolnění vzorku z trubice.



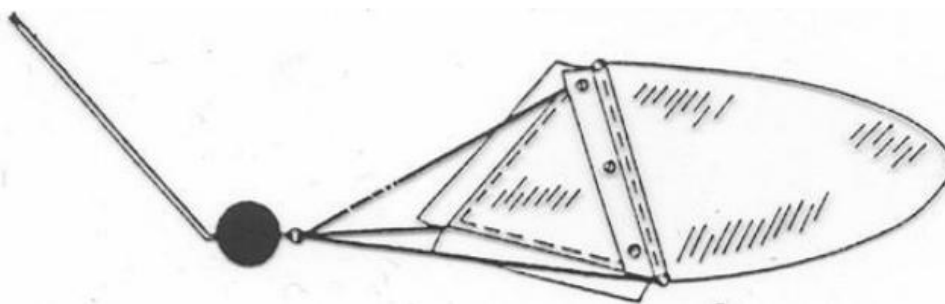
Obr. 16 Jádrový pístový vzorkovač (zdroj: Janků a Kohout 2001, upraveno)

Zmrazovací vzorkovače (viz obr. 17) fungují tak, že se spustí na dno koryta, kde dojde k namražení sedimentu a k jeho následnému vytržení. Tato metoda se podle Metod sledování terestrických a bentických organismů využívá k odběru hlubších vrstev sedimentu a neporušených vzorků.



Obr. 17 Zmrazovací vzorkovač (zdroj: Metody sledování terestrických a bentických organismů, upraveno)

V hluboké vodě odebírají vzorky buď vycvičení potápěči, nebo se používají speciální odběráky, jak uvádí Pícha a Šmejkalová (2013). Tyto odběráky jsou vpředu vybaveny řeznou hranou a vzadu pytlíkem ze síťoviny (viz obr. 18). Odběrák se spustí na dno koryta, jeho přední část se zařezává do sedimentu a ten se akumuluje v zadní části odběráku.



Obr. 18 Speciální odběrák (zdroj: Pícha a Šmejkalová 2013)

Vyztužené vrstvy jsou málo vyvinuté v tocích s vysokou dodávkou sedimentu nebo v dobře tříděném sedimentu, jak uvádí Bunte a Abt (2001). Vzorky vyztužené vrstvy se používají k charakterizování toku pro mnoho účelů, včetně monitoringu koryta a analýzy transportu částic. Stupeň vyztužení může být stanoven buď porovnáním rozdělení velikostí částic nebo srovnáním velikostí D50 z vyztužené vrstvy s velikostí D50 z polovyztužené vrstvy. Čím je větší podíl, tím je vyšší stupeň vyztužení. Změna ve stupni vyztužení se využívá jako ukazatel změny dodávky sedimentu nebo režimu toku. Podpovrchový sediment je sediment umístěný pod povrchem koryta vodního toku. Polovyztužená vrstva se nachází pod vyztuženou vrstvou. Podpovrchové a polovyztužené sedimenty jsou obvykle jemnější než povrchové a vyztužené sedimenty. Rozdělení velikostí částic podpovrchových a polovyztužených sedimentů je stejné, a tak je termín podpovrchový často používán jak pro podpovrchové, tak pro polovyztužené sedimenty. Velikost podpovrchového sedimentu je regulována dodávkou jemného sedimentu do toku, nedostatkem třídění toků a lokálními hydraulikami, které dávají přednost usazování jemných částic. Aby mohl být podpovrchový nebo polovyztužený sediment vzorkován, musí být nejprve odstraněna povrchová nebo vyztužená vrstva. Vzorky podpovrchového a polovyztuženého sedimentu by měly mít tloušťku alespoň jako vyztužená vrstva, lépe o něco větší. Nestratifikované objemové vzorky materiálu v korytě zahrnují vyztužené, polovyztužené, povrchové i podpovrchové sedimenty.

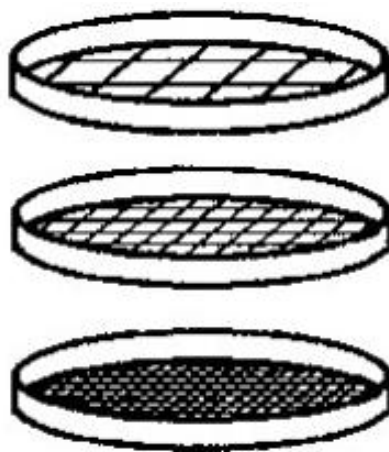
2.2.3 Metody analýzy zrnitosti

Po odebrání vzorků se provádí jejich granulometrická (zrnitostní) analýza. Podle ní se zjišťuje zrnitost sedimentů (Petránek 2007). Existují různé metody zrnitostního rozboru. Velikost zrn může být posouzena buď přímo v terénu, anebo v laboratoři. V terénu se pro odhad velikosti zrn používá makroskopická prstová zkouška (Hejátková, Pokorný a Šarapatka 2007). V laboratoři se podle Technických norem (2005) určuje granulometrické složení hrubozrnných sedimentů síťovou metodou a granulometrické složení jemnozrnných sedimentů sedimentační metodou. Tyto metody jsou podrobně

popsány v následujícím textu. Existují i další metody, jako např. metody využívající detekční systémy používající laserové nebo rentgenové paprsky, měřidla hustoty nebo počítadla zrn. Částice lze též měřit, u dostatečně velkých zrn je možné jejich přímé měření (Petránek 2007).

2.2.3.1 Sítová metoda

Sítová metoda je jednou z nejstarších a nejjednodušších technik zjišťování velikosti částic, jak uvádí Zoubková (2012). Princip sítové metody spočívá ve využití soustavy sít o známé velikosti otvorů, sestavené ve směru gravitačního transportu analyzované látky s postupně se zmenšujícím průměrem ok (viz obr. 19). K provedení zrnitostního rozboru sítovou metodou jsou potřeba síta o různé velikosti otvorů, prosévací přístroj (viz obr. 20), analytické váhy a kádinka. Existuje suchá a mokrá sítová metoda. Výsledek se udává v hmotnostních procentech obsahu jednotlivých frakcí. Mezi hlavní výhody metody patří to, že podává informace o vzorcích s reálně definovanými rozměry částic. Nevýhodou je nemožnost stanovení hustoty směsi látek přímo v suspenzi nebo proudu vzduchu, dále časová náročnost a destruktivní charakter. Tato metoda je podle Návodů k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin vhodná pro částice větší než 0,063 mm. Při prosévání se obvykle používají síta se čtvercovými otvory síta, ale některé laboratoře ještě stále užívají kulaté otvory, jak uvádí Bunte a Abt (2001). Síta se čtvercovými a kulatými otvory mají za následek rozdílné velikosti zrnitostních křivek, zejména pak pro ploché částice.



Obr. 19 Síta s postupně se zmenšujícím průměrem ok (zdroj: Juo a Yang 2001, upraveno)



Obr. 20 Prosévací přístroj - zde **HAYER EML 200** (zdroj: *Vysoké učení technické v Brně 2014, upraveno*)

2.2.3.1.1 Suchá síťová metoda

K suché síťové metodě se používá suchý sediment, laboratorní síťovací zařízení, kádinka a váhy. Sediment se nejprve mechanicky rozmělní, aby se od sebe oddělila zrna, a následně se vloží na soustavu sít o známé hmotnosti. Soustava sít se umístí na síťovací stroj. Při prosévání písku se na prosévací přístroj vkládá 100 – 500 g sedimentu, při prosévání šterku 1 – 20 kg (Návody k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin). Následuje prosévání. Sediment se může prosévat také na sítích pomocí ostrého štětce, jak uvádí Zoubková (2012). Dále se jednotlivé frakce zachycené na sítích o dané velikosti otvorů přesypou do předem zvážené kádinky a zjistí se jejich hmotnosti. Výsledkem jsou jednotlivé získané frakce sedimentu včetně jejich hmotnosti.

2.2.3.1.2 Mokrý síťová metoda

K provedení mokré síťové metody se používá opět suchý sediment, síťovací zařízení, kádinka a váhy. Sediment se nejprve rozmíchá s destilovanou vodou do velmi řídké suspenze a poté umístí na nejjemnější síto a promyje destilovanou vodou. Voda musí být odpařena, proto je dobré minimalizovat její objem. Podsítná frakce se umístí do nádoby o známé hmotnosti. Nadsítná frakce je vložena na soustavu zbývajících sít

a opět promyta vodou. Výsledkem je podsítná frakce s vodou v nádobě a frakce na sítích. Všechny podíly musí být před určením jejich hmotnosti vysušeny. Výsledkem jsou jednotlivé získané frakce sedimentu včetně jejich hmotnosti. Z hodnot může být poté sestaven graf vykazující křivku zrnitosti (Návody k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin).

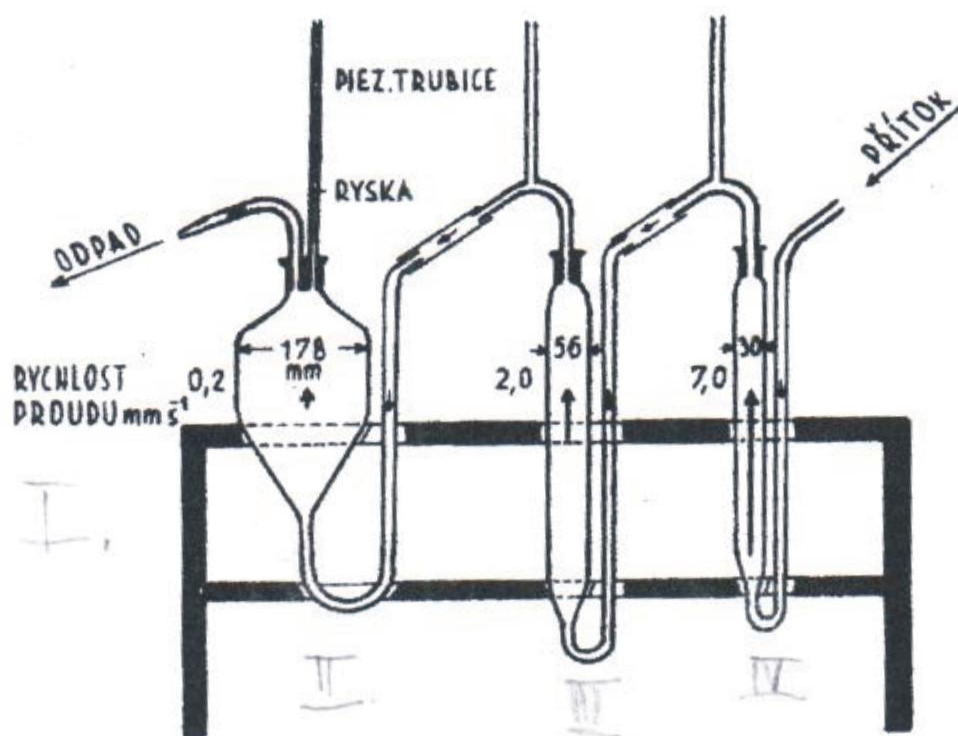
2.2.3.2 Sedimentační metoda

Sedimentace je proces usazování zrn v kapalině, jak uvádí Technické normy (2005). Tato metoda je založena na rozdílné rychlosti usazování částic. Výsledky sedimentačních metod jsou hmotnostně vážená rozdělení velikosti. Podle Gregorové a Pabsta (2007) je výhodou sedimentačních metod jasný princip měření, jednoduchá proveditelnost nevyžadující komplikovaná zařízení a fyzikálně jednoznačná interpretace výsledků. Naopak mezi nevýhody patří časová náročnost, poměrně úzký rozsah měření a závislost výsledků na přípravě vzorků. Vyhodnocování dat této metody vychází z klasické Stokesovy rovnice pro koule. Protože však zrna nejsou kulovitá, odpovídají Stokesovy průměry průměrům koulí se stejnou sedimentační rychlostí jako vybrané částice. Tato metoda se používá pro jílovitý sediment, jak uvádí Taubner a kol. (2009)

K nejběžnějším sedimentačním metodám se řadí vyplavovací metoda Kopeckého, hustoměrná Cassagrandeho metoda, pipetovací a dekantací metoda. Tyto metody jsou popsány v následujícím textu.

2.2.3.2.1 Vyplavovací metoda Kopeckého

Vyplavovací metoda využívá Kopeckého vyplavovací přístroj, který se skládá ze tří válců o různém průměru (viz obr. 21). Průměry válců jsou voleny tak, aby v nich vznikla potřebná vyplavovací rychlost. Proud určité rychlosti odplavuje částice o nižší sedimentační rychlosti, než je rychlost proudící vody. Přístroj rozděluje částice do čtyř kategorií podle Kopeckého (viz tab. 5), jak uvádí Fér (2013). Do nejužšího válce je přiváděna voda, která následně protéká širšími válci. 4. kategorie jemnozeme zůstane v nejužším válci, 3. kategorie v prostředním válci a 2. kategorie v posledním, nejširším válci. 1. kategorie jemnozeme je vyplavována z přístroje ven.



Obr. 21 Kopeckého vyplavovací přístroj (zdroj: Fér 2013, upraveno)

Tab. 5 Zrnitostní klasifikace podle Kopeckého (zdroj: Fér 2013, upraveno)

Částice	Velikost zrna v mm		
koloidní jíl	menší než 0,0001	1. kategorie	jemnozern
fyzikální jíl	0,0001 – 0,001		
jemný prach	0,001 – 0,01		
prach	0,01 – 0,05	2. kategorie	
práškový písek	0,05 – 0,1	3. kategorie	
písek	0,1 – 2	4. kategorie	
hrubý písek	2 – 4	skelet	
štěrk	4 – 30		
kamení	větší než 30		

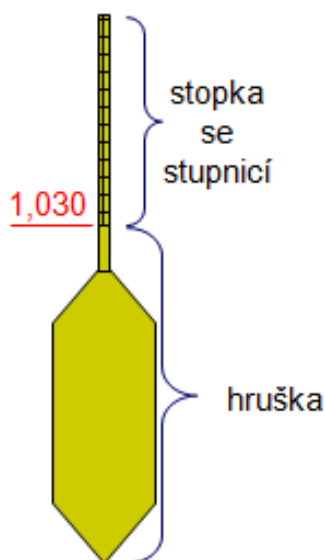
2.2.3.2.2 Hustoměrná Cassagrandeho metoda

Hustoměrná neboli areometrická metoda patří do metod s nepřerušovanou sedimentací. Všechna měření tedy probíhají během jednoho usazovacího procesu (Zoubková 2012). Touto metodou se určují zrna menší než 0,063 mm, jak uvádí Váňová (2003).

Princip metody spočívá v měření hustoty suspenze hustoměrem v určitých časových intervalech (Fér 2013). Teoretickým základem této metody je Stokesův zákon, jak uvádí Návod k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin. Zákon je vyjádřen vztahem: $v = \frac{2gr^2}{9\eta}(\rho_z - \rho_0)$; kde v je sedimentační rychlost $[\frac{cm}{s}]$, g tíhové zrychlení $[\frac{cm}{s^2}]$, ρ_z hustota částic $[\frac{g}{cm^3}]$, ρ_0 hustota vody při dané teplotě $[\frac{g}{cm^3}]$ a η

viskozita vody při dané teplotě [$\frac{g}{cm \cdot s}$] (Gavlasová 2014). V závislosti na čase částice postupně sedimentují podle velikosti a dochází k poklesu hustoty (Váňová 2003). Hustota se určuje speciálním hustoměrem (areometrem).

K hustoměrné metodě se podle Zoubkové (2012) používají analytické váhy, porcelánové misky, lžička, stopky, odměrný válec o objemu 1 l, skleněná tyčinka, hustoměr (viz obr. 22), dispergační činidlo (hexametafosforečnan sodný) a destilovaná voda. Dále se podle Návodů k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin využívá Cassagrandeho nomogram, míchadlo, teploměr, kahan, trojnožka a azbestová síťka.



Obr. 22 Hustoměr (zdroj: Fér 2013, upraveno)

Postup zahrnuje kalibraci hustoměru a válce, preparaci vzorku sedimentu a vlastní měření. Kalibrace hustoměru a válce slouží k opravě chyby měření způsobené nenulovým objemem hustoměru (Fér 2013). Při kalibraci se zjišťují parametry hustoměru a válce. Pomocí nich se přepočítávají hustoměrná čtení na střední hloubku ponoření hustoměru. Kalibrace se provádí v přestávkách mezi měřeními.

Preparace vzorku sedimentu je potřebná k rozbití agregátů (Fér 2013). Lze ji provádět mechanicky, chemicky či kombinací obou metod. Ze sedimentu je odebrán vzorek, podle Zoubkové (2012) je to u jílovitých půd cca 20 – 30 g (u jílu 10 g), u písčitohlinitých, hlinitých a jílovitohlinitých půd 30 – 50 g a u písčitých půd až 100 g. Zvážený vzorek sedimentu se umístí do porcelánové misky a přelije tolika ml destilované vody, kolik bylo odebráno g sedimentu (Návody k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin). Dále se přidá dispergační činidlo – hexametafosforečnan

sodný – (na každých 10 g sedimentu přidáme 10 ml) a směs se vaří cca 1 hodinu nad kahanem na trojnožce a azbestové síťce, občas se zamíchá skleněnou tyčinkou.

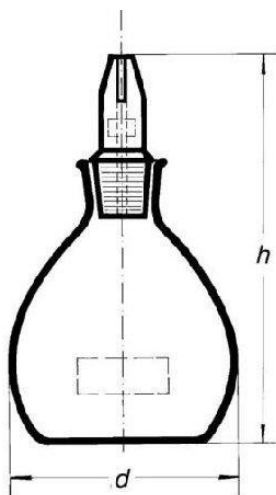
Po vychladnutí se suspenze roztírá o dno misky a zakalený podíl se odlévá přímo do odměrného válce, který se dolije vodou na objem 1000 ml (Zoubková 2012). Suspenze se rozmíchá pomocí míchadla (1 min), opatrně se do ní vloží hustoměr a v jednotlivých časových intervalech je měřena hustota. V průběhu sedimentace je zaznamenávána také teplota suspenze. Po několika měřeních se hustoměr opatrně vyjme a opláchně, aby nedocházelo k usazování částic na hrušce hustoměru, a vnoří se do válce opět až minutu před dalším měřením. Tento postup se opakuje u všech dalších měření.

Výsledky se vyhodnocují pomocí nomogramu, kde se určí velikost sedimentujících částic pro jednotlivé doby sedimentace (Zoubková 2012). Sestrojí se zrnitostní křivka, na vodorovnou osu se vynášejí průměry zrn v mm, které byly získány pomocí Cassagrandeho nomogramu a na svislou osu vypočítaný procentuální podíl (Návody k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin). Ten se vypočte z hodnoty hustoty a známého časového intervalu od počátku sedimentace a stanoví se procentický podíl jednotlivých částic (Váňová 2003).

2.2.3.2.3 Pipetovací Andreasenova metoda

Tato metoda je řazena, jak uvádí Hybler a Náplavová (2008), k metodám neopakovatelné sedimentace. Pipetovací metoda je nejpřesnější metodou pro stanovení zrn menších než 0,05 mm. Princip metody je podle Féra (2013) v tom, že se ve známých hloubkách a časech odpipetuje suspenze, následně se odpaří voda a suchá frakce se zváží.

K provedení metody je potřeba pyknometr (viz obr. 23), váhy, ultrazvuková vana, tyčinka, hodinové sklíčko, odměrný válec o objemu 1 l, kádinka o objemu 250 ml, pipeta o objemu 50 ml, Petriho misky, teploměr a destilovaná voda (Silikátové technologie 2009).



Obr. 23 Pyknometr (zdroj: Maneko spol. s r.o. 2013, upraveno)

Ve vodě se postupně usazuje rozmíchaná suspenze. Z ní se v daných časových intervalech odebírá pipetou vzorek s malým objemem, a to z hloubky, která odpovídá sedimentační dráze požadované zrnitostní frakce (Silikátové technologie 2009). Dále se zjistí hmotnost zrn v odebraném vzorku. Obsah zrn je následně přepočítán na celkové množství v suspenzi.

Rychlost pádu zrna ve vodě závisí mimo jiné na jeho hustotě. Hustota sedimentu se zjišťuje pyknometrickou metodou. Suchý pyknometr se zátkou se zváží, poté se asi do 1/3 objemu naplní vzorkem sedimentu a znovu se zváží. Následně se cca do 2/3 objemu pyknometru dolije voda a suspenze se kroužením míchá do té doby, než se vzorek ponoří a uniknou z něho vzduchové bubliny. Vzorek se nechá usadit, poté se pyknometr opět dolije vodou, zváží a nakonec se vypočte hustota vzorku sedimentu.

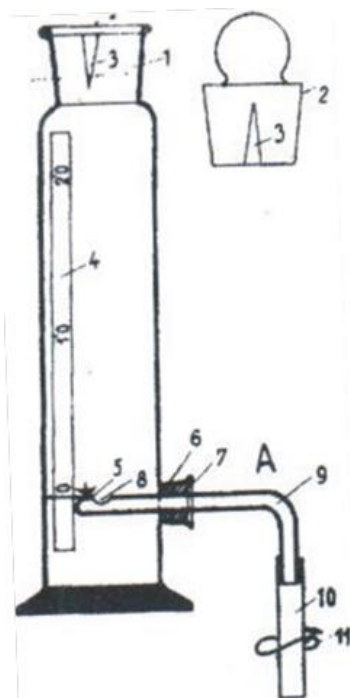
Pomocí Stokesova zákona je vypočítána doba pipetování požadovaných zrnitostních frakcí pro určitou teplotu, zjištěnou hustotu vzorku a počáteční hloubku odběru.

Sediment musí vyschnout, poté se z něho odebere cca 10 – 15 g a zhomogenizuje se. Poté se tento sediment a 150 ml destilované vody o známé teplotě umístí do kádinky o objemu 250 ml, smíchá se skleněnou tyčinkou a vloží se do ultrazvukové vany. Zde se nechá 10 minut rozdužovat, následně se kádinka vyjme a přikrytá hodinovým sklíčkem se nechá 5 minut odstát a poté se opět rozdužuje v ultrazvukové vaně. Suspenze se přemístí do sedimentačního válce o objemu 1 l, dolije destilovanou vodou a promíchá skleněnou tyčinkou. Následně je na horní okraj sedimentačního válce umístěna polyetylenová zátka s otvorem, do které se vloží pipeta o objemu 50 ml. Ve zvolených časových intervalech se pipetou odebere vzorek suspenze a umístí se do předem zvážené Petriho misky, do které je vlita i voda

z proplachu pipety. Suspenze se vysuší a poté zváží, čímž jsou získány požadované hmotnosti jednotlivých zrnitostních frakcí. Nakonec je vypočtena zrnitost.

2.2.3.2.4 Dekantační metoda

Dekantační metoda spadá do metod s přerušovanou sedimentací (Fér 2013). K této metodě se využívá dekantního válce s postranním tubusem (viz obr. 24). Suspenze se nechá po předepsaný čas, který odpovídá sedimentační rychlosti určité velikosti zrn, usazovat. Následně se odčerpají neusazené částice a stanoví se. Tento postup se provádí až do vyčištění kapaliny v usazovacím sloupci.



Obr. 24 Dekantační válec s postranním tubusem (zdroj: Fér 2013, upraveno)

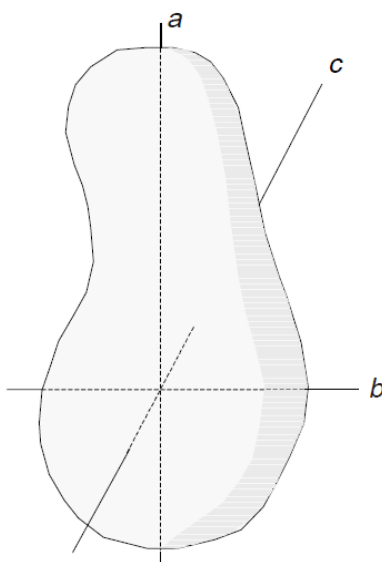
2.2.3.3 Manuální měření velikosti zrn

Hrubozrnné částice lze měřit kromě již popsané síťové metody také manuálně. K měření se může použít šablona, pravítko, posuvné měřítko nebo pebble box. Bunte a Abt (2001) uvádí, že k určení velikosti částice musí být změřeny její tři osy, které definují trojrozměrný tvar částice. Někdy je vhodnější použít k charakteristice částice pouze jednu proměnnou, např. délku prostřední osy částice nebo velikost síta, na kterém byla částice zachycena.

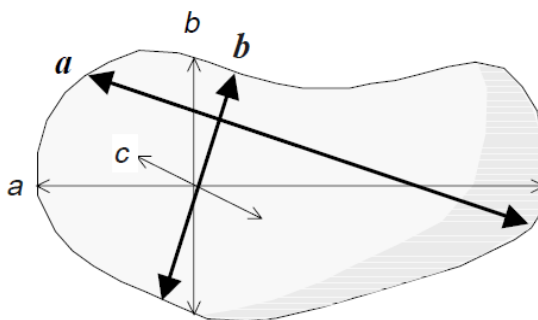
2.2.3.3.1 Osy zrna

Každé zrno neboli částice má tři osy – nejdelší (osa *a*), středně dlouhou (osa *b*) a nejkratší osu (osa *c*), jak uvádí Bunte a Abt (2001). U částic elipsoidního tvaru jsou

na sebe osy kolmé. Částice kosočtverečného tvaru kolmost nespĺňujú. Môže nastat problém, zda identifikovat částici podle délky nebo podle kolmosti. Určení osy c je většinou snadné, složitější je to s identifikací osy a a osy b . Rozhodující je, zda analýza začíná určením osy a jako nejdelší osy a osy b jako středně dlouhé osy, která je na osu a kolmá (klasifikace podle Yuzyk a Winkler 1991) nebo zda začíná identifikací osy b jako nejkratší osy, která je kolmá na osu c (klasifikace podle Gordon a kol. 1992). Na obr. 25 a obr. 26 jsou zobrazeny klasifikace os.

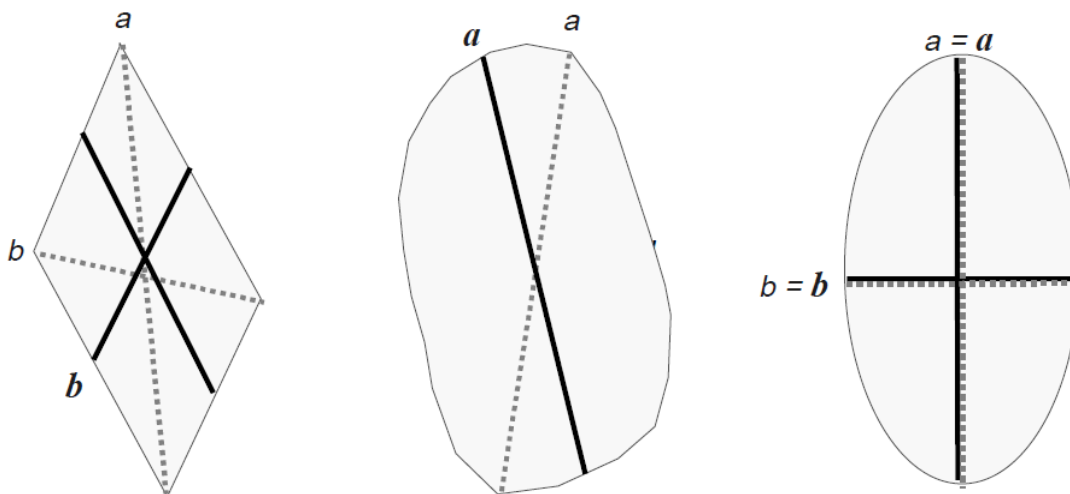


Obr. 25 Klasifikace os částice – oprava po Yuzyk 1986 (zdroj: Bunte a Abt 2001, upraveno)



Obr. 26 Klasifikace os částice podle Yuzyk a Winkler 1991 (zdroj: Bunte a Abt 2001, upraveno)

Pro hladké elipsoidní tvary částic jsou rozdíly v definici osy a a osy b zanedbatelné a měření délek os je snadné. Naopak měřit osy hranatých a kosočtverečných částic může být značně obtížné. Na obr. 27 lze vidět, že nejvýraznější rozdíly v definici osy a a osy b vykazují částice kosočtverečného tvaru.



Obr. 27 Osa a a osa b u částice kosočtverečného, hranatého a elipsoidního tvaru. Přerušovanou linií jsou vyznačeny osy podle Yuzyk a Winkler (1991) a černě podle Gordon a kol. (1992) (zdroj: Bunte a Abt 2001, upraveno)

2.2.3.3.2 Velikost zrn a velikost tříd

Velikost částic může být stanovena ve třech různých kategoriích – skutečná délka osy b , nominální průměr a particle-sieve diameter (Bunte a Abt 2001). U částic, které mají méně než 2 mm v průměru, se obvykle velikost nerozlišuje. Tyto částice jsou zahrnuty do velikostní třídy menší než 2 mm a počítány společně.

Měření skutečné délky osy b v milimetrech nebo centimetrech může být důležité pro studie, které se zabývají malým rozsahem velikosti částic, tj. takovým, který se vyznačuje dvěma po sobě jdoucími sítí ve standardní sadě sítí. Příkladem takové studie je stanovení dominantní velikosti částic. Tato velikost se vypočítá jako aritmetický průměr osy b měřené u cca třiceti velkých (nikoli největších) částic umístěných v sedimentu.

V případě, že potřebnější než délka osy b nebo sieve diameter je pro studii hmotnost nebo objem částice, používá se nominální průměr neboli index velikosti klastu. Nominální průměr udává průměr částice, který by byl předpokládán, pokud by byl objem částice vyjádřen jako koule a vypočítán podle vzorce $D_n = (a \cdot b \cdot c)^{1/3}$. D_n je přímo závislý na objemu částic. Index velikosti klastu by se měl vlivem fluviálního opracování jednotlivých klastů po proudu toku zmenšovat.

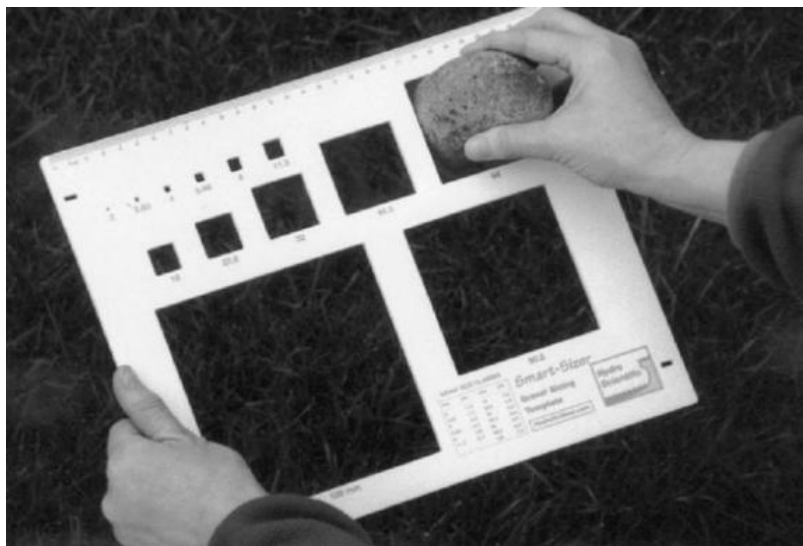
Částice obsažené ve vrstvě sedimentu jsou obvykle analyzovány seskupením částic různých velikostí do velikostních tříd, které odpovídají velikostem otvorů síta. Particle sieve-size může být definována jako nejmenší velikost síta, skrz které může částice projít nebo jako největší velikost síta, skrz které částice neprošla. Particle sieve-diameter závisí kromě jiného na tom, zda byla použita síta se čtvercovými nebo

kruhovými otvory. Sieve diameter se totiž pro částice o stejné hmotnosti mění podle tvaru.

Sieve diameter a nominální průměr jsou shodné pro částice kulatého a elipsoidního tvaru, které mají určitý poměr os – $a=3/2b$ a $c=2/3b$. Pro jiné tvary částic jsou tyto průměry odlišné. Ve srovnání s koulí má částice tvaru disku nižší nominální průměr díky malé ose c . Nominální průměr částice tyčkovitého tvaru je naopak vyšší než u koule, protože má delší osu a .

2.2.3.3.3 Měření velikosti zrn

Velikost zrn se měří pomocí šablony, pravítka, posuvného měřítka nebo tzv. pebble boxu. Zrna se nejlépe měří pomocí šablony (viz obr. 28). Použití šablony snižuje variabilitu při měření velikostí částic různými osobami a zajišťuje srovnatelnost výsledků měření s daty získanými použitím standardního síta se čtvercovými otvory (Bunte a Abt 2001). Pravítka a posuvná měřítka jsou náchylná k chybám uživatele, kterým se lze vyhnout použitím šablon. Pravítka nebo posuvná měřítka se využívají v případě, pokud je rozsah měřených velikostí částic velice malý nebo pokud se měří všechny osy částice. Měření osy b pravítkem místo šablony se nedoporučuje, jelikož pravítko má tendenci zvětšovat délku osy b . Pebble boxy jsou praktická zařízení, pokud chceme měřit všechny tři osy částice. Pomáhají totiž snižovat chyby měření uživatele a urychlovat měření.



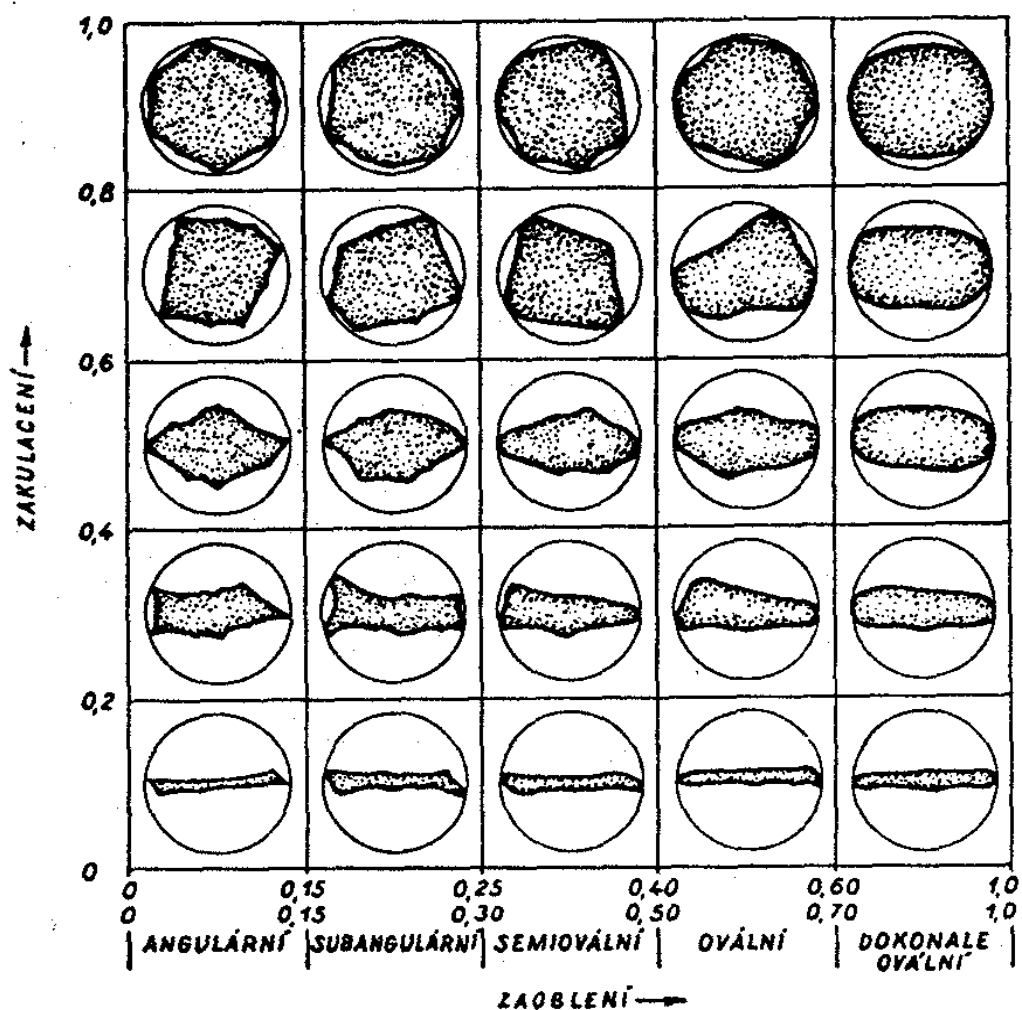
Obr. 28 Šablona k měření velikosti zrna (zdroj: Bunte a Abt 2001, upraveno)

2.2.4 Analýza zrn

K nejdůležitějším charakteristikám zrn řadíme tvar, hustotu a objemovou hmotnost. Tyto charakteristiky jsou popsány v textu níže.

2.2.4.1 Tvar zrn

Tvar částice má vliv na přenos ve vodním toku a také může ukazovat přepravní vzdálenost částice, jak uvádí Bunte a Abt (2001). Základními morfologickými znaky tvaru zrna jsou podle Petránka (2007) sféricita a zaoblení. Sféricita neboli zakulacení je míra přiblížení se tvaru koule a je do jisté míry ovlivněna výchozím tvarem částice. Zaoblení je znak, který vyjadřuje stupeň opracování klastických částic, je ukazatelem intenzity obrušování. Podle zaoblení se zrna dělí na zrna ostrohranná – angulární, poloostrohranná – subangulární, polozaoblená – subovální, zaoblená – ovální a dokonale zaoblená – dokonale ovální (Štelcl a Vávra 2008). Škála pro odhad tvaru zrn je uvedena na obr. 29. Pokud není dostatečně jasná vizuální klasifikace částice, musí být změřeny její tři osy, aby mohl být tvar částice vypočítán (Bunte a Abt 2001). Tvar zrna se rozlišuje právě na základě poměru jeho tří os na plochý – diskovitý, stejnorozměrný – kulovitý, ploše protáhlý – čepelovitý a protáhlý – vřetenovitý (Štelcl a Vávra 2008).



Obr. 29 Škála pro odhad tvaru klastických zrn (zdroj: Návod pro pojmenování a popis zemin 2013, upraveno)

2.2.4.2 Hustota a objemová hmotnost zrn

Hustota částic je definována jako hmotnost částic dělená objemem, udává se v g/cm^3 nebo kg/m^3 . Objem částice je buď měřen, nebo odhadován z tvaru částice. K měření objemu je potřeba velká odměrka pro velké částice nebo odstupňovaný válec pro malé částice (Bunte a Abt 2001). Měrná nádoba se naplní z poloviny vodou a zaznamená se objem vody. Poté se do vody ponoří částice a opět se změří objem vody. Rozdíl mezi těmito dvěma objemy se rovná objemu částice. Pokud jsou částice příliš malé nebo pokud má být zjištěna průměrná hustota částic, může být jejich objem měřen společně. Aby byla snížena chyba při měření, mělo by se celé měření několikrát opakovat, pokaždé s jinými částicemi. Podle Petránka (2007) se hustota sedimentů pohybuje mezi 1,2 a 3 g/cm^3 . Sedimenty mají nejnižší hustotu z hornin.

Objemová hmotnost je definována jako poměr hmotnosti objemového materiálu, který je obsažen v určitém celkovém objemu (Bunte a Abt 2001). Objemová hmotnost je v podstatě označení pro hustotu sypkých a pórovitých látek, je to hmotnost objemové jednotky i s dutinami a póry (Kučerová a kol. 2008). Morkus Morava, s. r. o. (2014) uvádí objemovou hmotnost jílu cca 2000 kg/m^3 , písku 1750 kg/m^3 a štěrku kolem 1700 kg/m^3 .

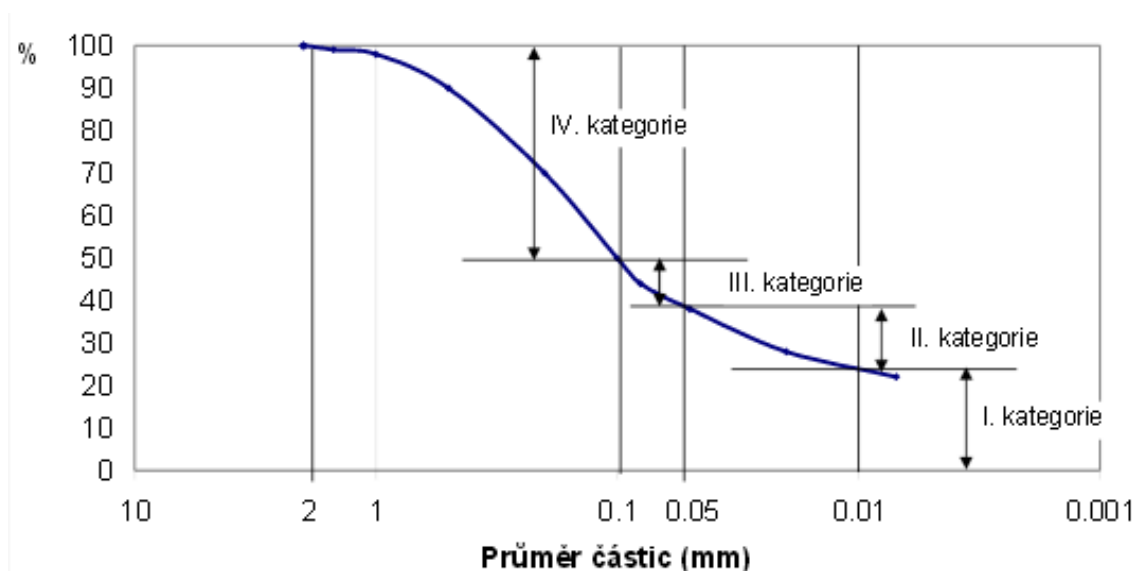
2.2.5 Statistická analýza a analýza zrnitostních parametrů

U zrnitosti sedimentů se provádí také statistická analýza. Výsledky zrnitosti se vyjadřují graficky, zejména zrnitostními křivkami a histogramy. Petránek (2007) uvádí, že zrnitostní křivky, např. součtová nebo četnostní, dovolují stanovit různé zrnitostní parametry potřebné ke statistickému zpracování výsledků granulometrických rozborů.

Křivka zrnitosti je podle Návodů k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin definována jako „součtová čára, jejíž každý bod udává, kolik procent z celkové hmotnosti vzorku činí hmotnost všech zrn menších než určitý průměr zrna d v mm“. Na obr. 30 je zobrazen formulář pro zakreslení zrnitostní křivky a na obr. 31 je uveden její příklad. Na vodorovné ose se udává průměr zrn v mm a na svislé ose obsah zrn v procentech.

	Skelet	Písek	Práš. písek	Prach	Jílnaté částice	Poznámka zastoupení zrnitostních frakcí
		IV.kategorie.	III.k.	II.kategorie	I.kategorie	
Obsah zrn v procentech						
100						
90						
80						
70						
60						
50						
40						
30						
20						
10						
0						
Průměr zrn [mm]						

Obr. 30 Formulář pro sestavení zrnitostní křivky (zdroj: Zoubková 2012, upraveno)



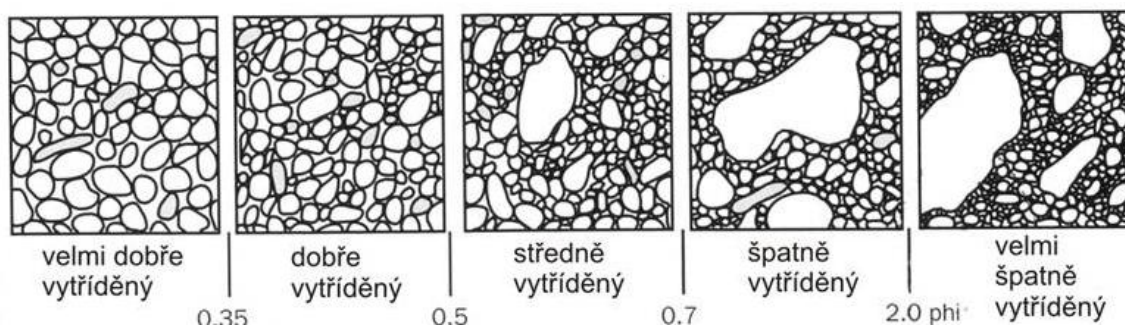
Obr. 31 Příklad zrnitostní křivky (zdroj: Návod k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin, upraveno)

Mezi hlavní zrnitostní parametry, které se analyzují, patří parametry určující střední velikost zrna (modus, medián), vyřídění, symetrie křivky, šikmost a špičatost.

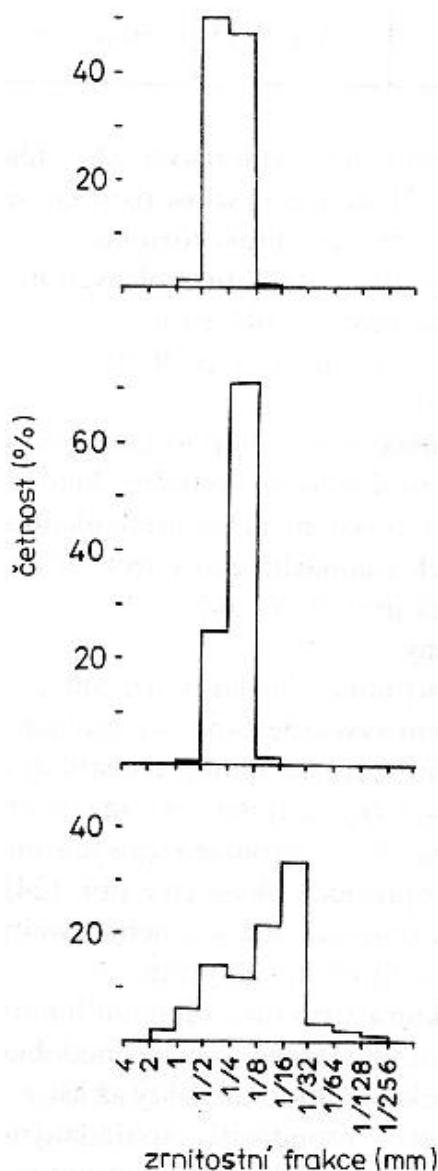
Modus a medián jsou charakteristiky polohy. Modus je „nejvíce zastoupená hodnota v rozdělení, která odpovídá maximu na frekvenční křivce,“ jak uvádí Gregorová a Pabst (2007). Značí se \hat{x} . Medián je podle Petránka (2007) hodnota středního prvku statistického souboru uspořádaného podle velikosti. Hodnot menších než medián je stejně jako hodnot větších než medián. Medián se často používá k vyjádření střední velikosti zrna. Značí se \tilde{x} .

Vyřídění je parametr, podle kterého můžeme zjistit druh transportu a sedimentační prostředí (Petránek 2007). Čím je sediment lépe vyříděn, tím méně zrnitostních frakcí obsahuje. Vyřídění se posuzuje na základě zrnitostní křivky. Obr. 32 prezentuje

vytřídění sedimentů a na obr. 33 je znázorněno zrnitostní složení velmi dobře vytříděného a nedostatečně vytříděného písku.

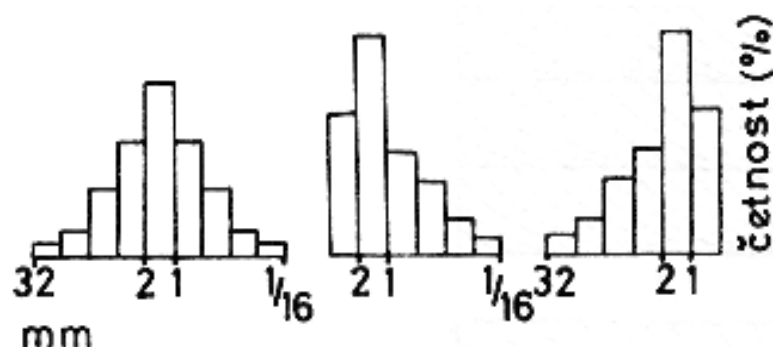


Obr. 32 Vytřídění sedimentů (zdroj: Stowe 2005, cit. v Skupien a Vašíček, 2008, upraveno).



Obr. 33 Zrnitostní složení velmi dobře vytříděného písku z pobřežní duny (nahore), z pláže (uprostřed) a nedostatečně vytříděného říčního písku (dole) (zdroj: Petránek 2007, upraveno)

Křivka normálního rozdělení je symetrická. Symetrie křivky říká, že výsledky vychýlené nad i pod střední hodnotu vycházejí zhruba stejně často. Na obr. 34 jsou znázorněny histogramy s různým druhem symetrie.



Obr. 34 Histogramy sedimentů s různým druhem symetrie (zdroj: Petránek 2007, upraveno)

Parametry šikmost a špičatost charakterizují tvar rozdělení (Tvrdík 2010). Šikmost dělí rozdělení na souměrná (symetrická) a nesouměrná (šikmá), jak uvádí Banáš a kol. (2007). Šikmost je nulová, pokud je rozdělení symetrické okolo průměru. Kladná šikmost nastane tehdy, když je rozdělení zešikmeno vlevo. Zešikmení vpravo charakterizuje zápornou šikmost. Špičatost je míra odlišností od normálového rozdělení (Gregorová a Pabst 2007). Pokud je rozdělení špičatější než normální, jedná se o kladnou špičatost. V opačném případě mluvíme o záporné špičatosti.

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – METODIKA PRACÍ

3.1 Výběr zájmového území

Pro experimentální část práce byly vybrány dva toky v ORP Sušice – Volšovka a Kepelský potok. Kepelský potok, jež je levostranným přítokem Volšovky byl zkoumán celý. Volšovka, jinak zvaná také Pstružný potok byla zkoumána od Chlumu po ústí do Otavy.

3.2 Použité metody

3.2.1 Metoda vzorkování povrchu

V terénu byla aplikována metoda vzorkování povrchu, konkrétně metoda měření v mřížce. Železný vzorkovací rám o vnitřních rozměrech 0,75 a 1 m (viz obr. 35) byl umístěn na povrch koryta toku či nivy a následně vyfotografován digitálním fotoaparátem Olympus Mju-Tough 3000. Při snímkování byla zaznamenávána poloha snímků pomocí navigace GPS. Ke snímkování byla vybrána suchá místa s minimálním množstvím vegetace nebo nečistoty. Touto metodou bylo odebráno 29 snímků na Kepelském potoce a 89 snímků na Volšovce. Obr. 36 ukazuje tok Volšovky na okraji Sušice, na obr. 37 je zobrazen soutok Volšovky a Kepelského potoka a obr. 38 představuje akumulaci v blízkosti sejpů nedaleko Petrovic u Sušice. Pro Sedimetrics Digital Gravelometer bylo z těchto snímků vybráno 19 snímků pro Kepelský potok a 69 pro Volšovku z důvodu výskytu stínu či jehličí na fotografii. Každý snímek sedimentu v Kepelském potoce byl odebrán na jiné akumulaci. 69 snímků sedimentu Volšovky bylo odebráno na 54 akumulacích. Akumulace snímkaného sedimentu Kepelského potoka a Volšovky jsou uvedeny na obr. 39. Fotografie byly pořízeny převážně v korytech toků, pouze 2 byly odebrány v nivě. V korytech toků byl sediment fotografován nejčastěji na jesebních březích (levých i pravých), několik snímků bylo pořízeno také na podélných úsecích, soutocích a ostrovech. Na Kepelském potoce od pramene po cca první třetinu toku nebyla zaznamenána žádná akumulace, což bylo způsobeno malou šířkou toku. Práce v terénu probíhaly v termínu 24. – 26.10.2013. Snímky byly dále zpracovávány pomocí softwaru Sedimetrics Digital Gravelometer.



Obr. 35 Vzorkovací rám (zdroj: autor)



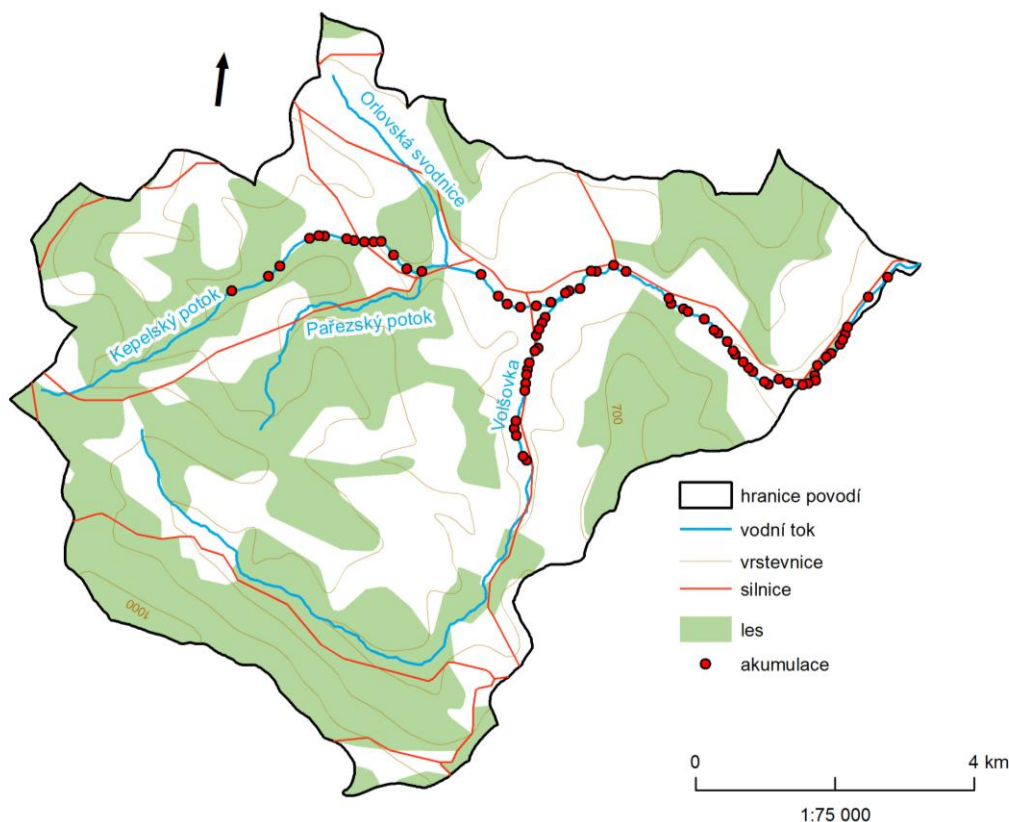
Obr. 36 Volšovka na okraji Sušice (zdroj: autor)



Obr. 37 Soutok Volšovky a Kepelského potoka – v horní části snímku je Volšovka, v levém dolním rohu je Kepelský potok (zdroj: autor)



Obr. 38 Akumulace v blízkosti sejpů nedaleko Petrovic u Sušice (zdroj: autor)



Obr. 39 Akumulace sedimentu Kepelského potoka a Volšovky (zdroj: ArcČr 2014, autor, DIBAVOD 2014)

3.2.2 Sedimetrics Digital Gravelometer

Snímky získané v terénu digitálním fotoaparátem Olympus Mju-Tough 3000 byly zpracovány v programu Sedimetrics Digital Gravelometer, ve verzi 1.0. Byla použita zkušební 21denní verze, která byla stažena z webových stránek www.sedimetrics.com.

Po instalaci softwaru v něm byl nejprve vytvořen nový projekt pro snímky z Kepelského potoka a druhý nový projekt pro snímky z Volšovky. Ve vlastnostech byly upraveny názvy projektů. Do těchto projektů byly fotografie nahrány ve formátu JPEG. Do projektu Kepelského potoka bylo importováno 19 snímků z koryta toku. 67 snímků z koryta a 2 snímky z nivy byly vloženy do projektu Volšovky. Při nahrávání snímků do projektů bylo potřeba identifikovat kontrolní body, které vymezují oblasti snímků k jejich následnému zpracování. Každý snímek byl podle 4 kontrolních bodů ořezán na vnitřní rozměr vzorkovacího rámu. Upravené snímky zobrazovaly obdélníkovou oblast o šířce 1 m a výšce 0,75 m.

Dále probíhalo měření velikosti zrn na každém snímku. Nejprve bylo označeno několik snímků najednou (ale vždy maximálně 7, při více snímcích program nefungoval) a byly nastaveny parametry hranice snímku tak, aby byla měřena pouze zrna, která se celá nacházejí ve vymezené obdélníkové oblasti. Částice přesahující

definovanou oblast nebyla zahrnuta do měření. Dále bylo nastaveno ukládání fází měření – snímek ve stupních šedi, transformovaný snímek, počáteční segmentace, rozhodující segmentace, konečný výběr zrn na snímku a snímek ve stupních šedi překrytý vrstvou vybraných zrn – do obrazových souborů. Tyto fáze jsou vyobrazené v teoretické části této práce. Následně bylo spuštěno měření zrn na vybraných snímcích. Barevná fotografie odebraná v terénu byla nejprve převedena na stupně šedi. Dále byla na fotografii ve stupních šedi identifikována jednotlivá zrna. Následujícím krokem bylo převedení snímku ve stupních šedi s identifikovanými částicemi do binární podoby, tj. na černobílý snímek. V této fázi byly částice zobrazeny bílou barvou a mezery mezi nimi byly znázorněny černou barvou. Dále byla v oblasti definované kontrolními body vybrána zrna, která byla následně měřena. Tato fáze má podobu černobílého snímku. Dalším krokem bylo měření vybraných částic. Po změření zrn na snímku byly zobrazeny snímky jednotlivých fází. Poté pokračovalo měření dalšího snímku. Měření jednoho snímku trvalo průměrně 4,5 min.

Dále byl generován report. V něm byly uvedeny informace o rozdělení velikosti zrn na každém snímku. Pro další zpracování byla ze Sedimetrics Digital Gravelometer exportována nezpracovaná data ve formátu CSV. Bylo vyexportováno 7 parametrů částice – délka osy b , délka osy a , plocha částice, ekvivalentní průměr, orientace, excentricita a čtvercový otvor síta opravený délkou osy b .

Nezpracovaná data byla importována do softwaru Excel, kde byla dále zpracována. Nejdříve byly pro jednotlivé snímky vypočítány průměrné hodnoty z uvedených 7 parametrů. Pro každý snímek byl určen také modus a medián, který byl spočítán z ekvivalentních průměrů jednotlivých částic daného snímku. Dále byly pro každý snímek seřazeny hodnoty ekvivalentních průměrů a to od nejnižší hodnoty po nejvyšší. Hodnoty ekvivalentních průměrů každého snímku byly rozděleny do zrnitostních kategorií, které uvádí tab. 6. Počty ekvivalentních průměrů v jednotlivých zrnitostních kategoriích byly následně spočítány a přepočítány na procenta. Byla určena zrnitost každého snímku Kepelského potoka a Volšovky. Mapy byly vytvořeny pomocí programu ArcGIS a OCAD. Byly použity mapové vrstvy z ArcČr, CENIA, DIBAVOD a ZABAGED.

Tab. 6 Zrnitostní klasifikace klastických sedimentů (zdroj: Skupien a Vašíček 2008, upraveno)

Částice	Velikost zrna [mm]
balvanitý štěrk	nad 250
hrubozrný štěrk	50 – 250
středozrný štěrk	10 – 50
drobnozrný štěrk	2 – 10
písek	0,063 – 2
prach	0,004 – 0,063
jíl	pod 0,004

4 VÝSLEDKY A DISKUSE

4.1 Výsledky použitých metod

Ze softwaru Sedimetrics Digital Gravelometer 1.0 byly zjištěny tyto parametry částic – délka osy b , délka osy a , plocha částice, ekvivalentní průměr, orientace, excentricita a čtvercový otvor síta opravený délkou osy b . Jejich průměrné hodnoty za jednotlivé snímky z Kepelského potoka jsou uvedeny v příloze 1, z Volšovky v příloze 2. Kepelský potok zahrnuje snímky 1 – 19, přičemž číslování začíná soutokem s Volšovkou a Volšovka obsahuje snímky 1 – 69, kde číslování začíná soutokem s Otavou. Modus a medián jednotlivých snímků sedimentu Kepelského potoka a Volšovky ukazuje tab. 7 a tab. 8. Hodnoty modu snímků sedimentu Kepelského potoka se pohybují v rozmezí 0,36 – 0,39 mm, Volšovky mezi 0,37 – 0,41 mm. Medián, který bývá považován za střední velikost zrna, nabývá u snímků Kepelského potoka hodnot 2,65 – 6,26 mm. U Pstružného potoka jsou hodnoty mediánu jednotlivých snímků v rozmezí 2,80 – 6,62 mm.

Tab.7 Modus a medián snímků sedimentu Kepelského potoka (zdroj: autor)

Snímek	Modus [mm]	Medián [mm]	Snímek	Modus [mm]	Medián [mm]
1	0,38	3,32	11	0,37	4,41
2	0,37	3,79	12	0,38	5,52
3	0,37	4,24	13	0,37	4,56
4	0,37	2,65	14	0,37	4,66
5	0,38	4,09	15	0,37	4,97
6	0,38	2,95	16	0,37	5,60
7	0,39	3,06	17	0,37	5,00
8	0,39	4,34	18	0,37	6,26
9	0,36	3,82	19	0,37	3,77
10	0,37	4,72			

Tab. 8 Modus a medián snímků sedimentu Volšovky (zdroj: autor)

Snímek	Modus [mm]	Medián [mm]	Snímek	Modus [mm]	Medián [mm]	Snímek	Modus [mm]	Medián [mm]
1	0,40	6,26	24	0,38	3,96	47	0,39	4,29
2	0,40	5,49	25	0,38	4,28	48	0,39	5,52
3	0,41	5,40	26	0,39	3,97	49	0,39	6,53
4	0,41	4,30	27	0,39	4,10	50	0,41	6,62
5	0,41	3,47	28	0,38	3,39	51	0,41	6,58
6	0,39	4,80	29	0,38	3,33	52	0,41	6,10
7	0,39	4,56	30	0,38	3,08	53	0,41	4,48
8	0,39	4,72	31	0,39	3,38	54	0,37	4,54
9	0,39	4,65	32	0,39	3,78	55	0,37	4,60
10	0,39	4,00	33	0,39	3,11	56	0,37	4,57
11	0,39	4,70	34	0,39	4,01	57	0,37	4,43
12	0,39	4,18	35	0,39	3,08	58	0,37	3,57
13	0,39	5,00	36	0,39	4,01	59	0,37	4,29
14	0,39	3,73	37	0,39	3,58	60	0,37	4,35
15	0,38	3,43	38	0,39	3,26	61	0,37	4,13
16	0,38	4,15	39	0,39	3,78	62	0,37	4,04
17	0,38	3,99	40	0,39	4,11	63	0,37	4,46
18	0,38	3,87	41	0,39	4,54	64	0,37	4,94
19	0,40	4,05	42	0,38	4,37	65	0,37	4,60
20	0,40	3,60	43	0,37	4,63	66	0,38	4,31
21	0,40	3,55	44	0,37	2,80	67	0,38	3,55
22	0,38	4,00	45	0,37	4,72	68	0,38	3,85
23	0,38	4,13	46	0,39	4,71	69	0,38	3,55

Tab. 9 a tab. 10 znázorňuje zrnitost sedimentu obou potoků, grafické vyjádření můžeme vidět na grafu 1. a grafu 2. Na vodorovné ose je uvedeno zastoupení zrnitostní frakce v % a na svislé ose je číslo snímku odebraného vzorku. Nejvíce částic Kepelského potoka se nachází v zrnitostní kategorii 2 – 10 mm (cca 65 %). V zrnitostních kategoriích pod 0,004 mm a 0,004 – 0,063 mm se nevyskytuje žádná částice, stejně jako v kategorii nad 250 mm. Částic o velikosti 50 – 250 mm je zanedbatelné množství, hodnoty se pohybují od 0,04 – 1,22 %. Ostatní částice jsou rozděleny mezi kategorii 0,063 – 2 mm a 10 – 50 mm. Jak lze vidět na již zmíněném grafu 1, tak částice o velikosti 0,063 – 2 mm směrem k prameni potoka mírně ubývají, naopak částice s velikostí 10 – 50 mm přibývají. V tab. 11 je umístěn stručný přehled zrnitosti Kepelského potoka.

Tab. 9 Zrnitost sedimentu Kepelského potoka [%] (zdroj: autor)

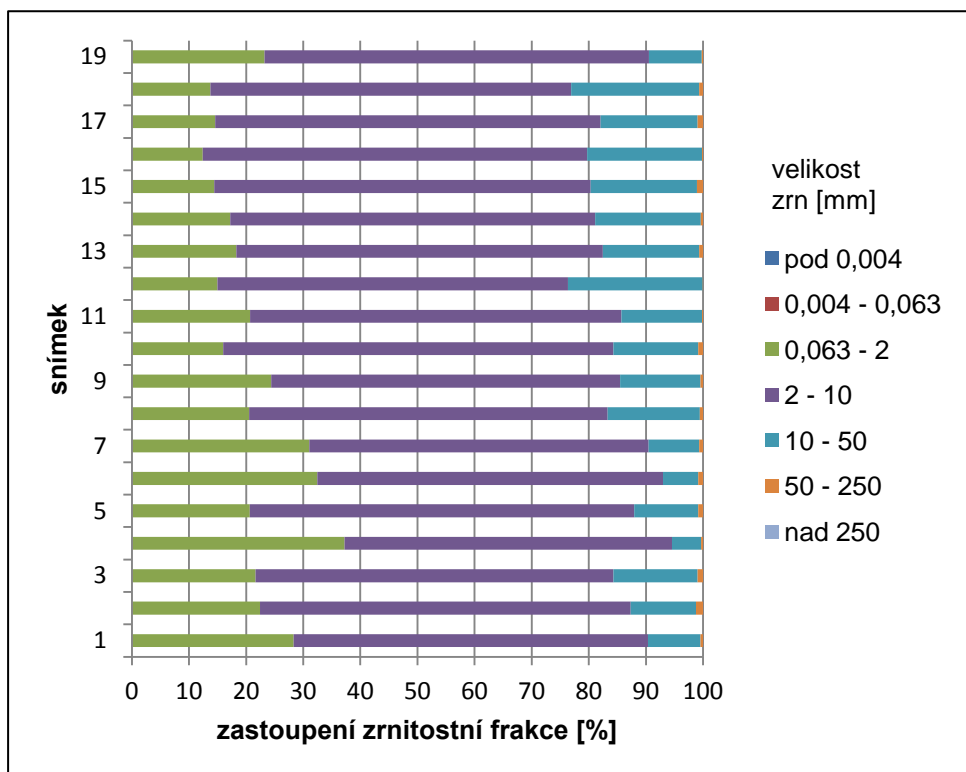
snímek	velikost zrn [mm]						
	pod 0,004	0,004 – 0,063	0,063 – 2	2 – 10	10 – 50	50 – 250	nad 250
	procentuální zastoupení velikosti zrn						
1	0	0	28,33	62,04	9,18	0,45	0
2	0	0	22,45	64,90	11,43	1,22	0
3	0	0	21,67	62,64	14,72	0,97	0
4	0	0	37,24	57,33	5,10	0,33	0
5	0	0	20,63	67,34	11,21	0,82	0
6	0	0	32,49	60,53	6,17	0,81	0
7	0	0	31,04	59,43	8,86	0,67	0
8	0	0	20,55	62,73	16,15	0,57	0
9	0	0	24,41	61,10	14,03	0,46	0
10	0	0	15,97	68,32	14,87	0,84	0
11	0	0	20,72	64,99	14,11	0,18	0
12	0	0	15,00	61,37	23,59	0,04	0
13	0	0	18,29	64,19	16,84	0,68	0
14	0	0	17,22	63,87	18,54	0,37	0
15	0	0	14,41	65,94	18,61	1,04	0
16	0	0	12,40	67,32	20,10	0,18	0
17	0	0	14,59	67,47	17,01	0,93	0
18	0	0	13,74	63,15	22,45	0,66	0
19	0	0	23,21	67,30	9,29	0,20	0

Tab. 10 Zrnitost sedimentu Volšovky [%] (zdroj: autor)

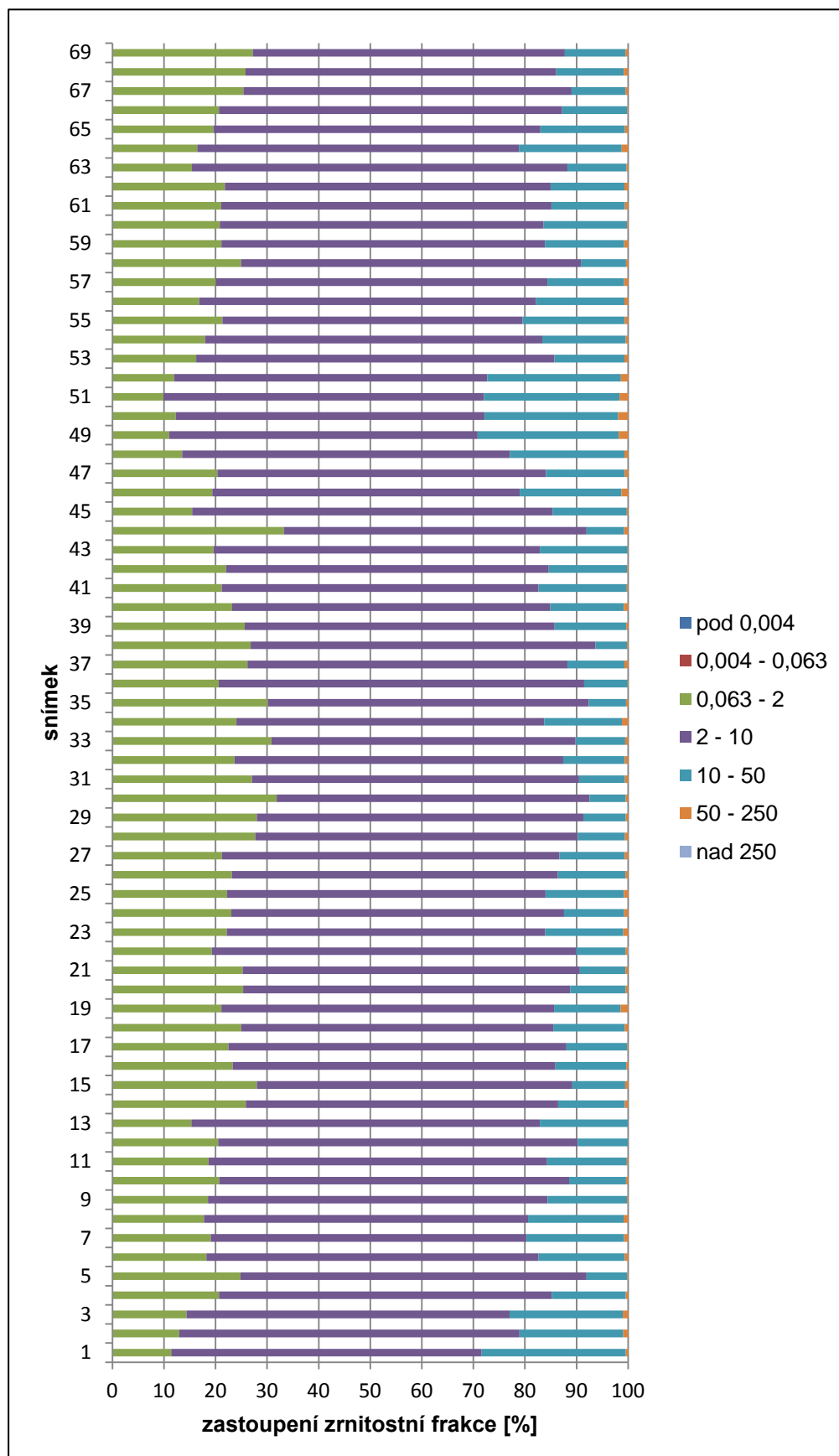
snímek	velikost zrn [mm]						
	pod 0,004	0,004 – 0,063	0,063 – 2	2 – 10	10 – 50	50 – 250	nad 250
	procentuální zastoupení velikosti zrn						
1	0	0	11,4	60,19	27,98	0,43	0
2	0	0	12,96	65,97	20,13	0,94	0
3	0	0	14,37	62,64	21,96	1,03	0
4	0	0	20,66	64,53	14,33	0,48	0
5	0	0	24,85	67,10	7,93	0,12	0
6	0	0	18,22	64,42	16,71	0,65	0
7	0	0	19,03	61,25	18,93	0,79	0
8	0	0	17,75	62,85	18,54	0,86	0
9	0	0	18,52	65,87	15,39	0,22	0
10	0	0	20,73	67,83	11,03	0,41	0
11	0	0	18,63	65,66	15,46	0,25	0
12	0	0	20,52	69,71	9,76	0,01	0
13	0	0	15,29	67,62	17,03	0,06	0
14	0	0	25,88	60,54	12,99	0,59	0
15	0	0	28,00	61,21	10,25	0,54	0
16	0	0	23,34	62,58	13,72	0,36	0
17	0	0	22,49	65,55	11,82	0,14	0
18	0	0	25,01	60,47	13,87	0,65	0

snímek	velikost zrn [mm]						
	pod 0,004	0,004 – 0,063	0,063 – 2	2 – 10	10 – 50	50 – 250	nad 250
	procentuální zastoupení velikosti zrn						
19	0	0	21,11	64,53	12,91	1,45	0
20	0	0	25,35	63,41	10,78	0,46	0
21	0	0	25,26	65,40	8,81	0,53	0
22	0	0	19,28	70,70	9,53	0,47	0,02
23	0	0	22,19	61,77	15,10	0,94	0
24	0	0	23,05	64,52	11,66	0,77	0
25	0	0	22,21	61,76	15,19	0,84	0
26	0	0	23,16	63,21	13,11	0,52	0
27	0	0	21,25	65,43	12,66	0,66	0
28	0	0	27,70	62,59	9,10	0,61	0
29	0	0	27,98	63,37	8,20	0,45	0
30	0	0	31,86	60,68	7,02	0,44	0
31	0	0	27,07	63,42	8,88	0,63	0
32	0	0	23,70	63,73	11,89	0,68	0
33	0	0	30,79	59,04	9,62	0,55	0
34	0	0	24,06	59,67	15,08	1,19	0
35	0	0	30,12	62,24	7,25	0,39	0
36	0	0	20,59	70,88	8,45	0,08	0
37	0	0	26,16	62,08	11,06	0,70	0
38	0	0	26,79	66,87	6,17	0,17	0
39	0	0	25,64	60,14	13,87	0,35	0
40	0	0	23,24	61,69	14,24	0,83	0
41	0	0	21,18	61,45	17,13	0,24	0
42	0	0	22,04	62,59	15,19	0,18	0
43	0	0	19,57	63,31	17,04	0,08	0
44	0	0	33,27	58,66	7,30	0,77	0
45	0	0	15,48	69,85	14,44	0,23	0
46	0	0	19,36	59,61	19,74	1,29	0
47	0	0	20,35	63,76	15,25	0,64	0
48	0	0	13,52	63,56	22,19	0,73	0
49	0	0	11,00	59,84	27,37	1,79	0
50	0	0	12,30	59,86	25,92	1,92	0
51	0	0	9,90	62,15	26,29	1,66	0
52	0	0	11,96	60,73	25,91	1,40	0
53	0	0	16,22	69,51	13,57	0,70	0
54	0	0	17,96	65,38	16,22	0,44	0
55	0	0	21,32	58,21	19,80	0,67	0
56	0	0	16,82	65,35	17,09	0,74	0
57	0	0	20,04	64,32	14,85	0,79	0
58	0	0	24,94	65,90	8,74	0,42	0
59	0	0	21,11	62,76	15,38	0,76	0
60	0	0	20,82	62,82	16,16	0,20	0
61	0	0	21,09	64,02	14,27	0,62	0
62	0	0	21,83	63,14	14,33	0,70	0
63	0	0	15,42	72,84	11,42	0,32	0

snímek	velikost zrn [mm]						
	pod 0,004	0,004 – 0,063	0,063 – 2	2 – 10	10 – 50	50 – 250	nad 250
	procentuální zastoupení velikosti zrn						
64	0	0	16,45	62,40	19,94	1,21	0
65	0	0	19,56	63,43	16,38	0,63	0
66	0	0	20,66	66,55	12,63	0,16	0
67	0	0	25,42	63,60	10,49	0,49	0
68	0	0	25,80	60,25	13,14	0,81	0
69	0	0	27,23	60,50	11,78	0,49	0



Graf 1 Zrnitost sedimentu Kepelského potoka [%] (zdroj: autor)



Graf 2 Zrnitost sedimentu Volšovky [%] (zdroj: autor)

Tab. 11 Zrnitost Kepelského potoka (zdroj: autor)

Velikost zrna	Jemnozerní	Drobnozrnný štěrť	Střednozrnný štěrť	Hrubozrnný štěrť	Balvanitý štěrť
Zastoupení zrnnostní frakce [%]	12,40 – 37,24	57,33 – 68,32	5,10 – 23,59	0,04 – 1,22	0

Do zrnnostních kategorií pod 0,004 mm a 0,004 – 0,063 mm na Volšovce nespádá žádná částice. V kategorii nad 250 mm se nachází pouze jediná částice z celého Pstružného potoka, a to na snímku číslo 22. Většina částic je umístěna v kategorii 2 – 10 mm (cca 65 %). Částice o velikosti 50 – 250 mm se v potoce vyskytují v zanedbatelném množství. Zbývající částice spadají do kategorie 0,063 – 2 mm a 10 – 50 mm. Tyto dvě kategorie se na zkoumaném území mírně mění, jak znázorňuje již uvedený graf 2. Stručně můžeme říci, že zrna velikosti 0,063 – 2 mm od snímku 1 přibývají, cca od snímku 40 počet zrn klesá a od cca 50. snímku částic opět přibývá. Částice patřící do kategorie 10 – 50 mm se chovají opačně – tam, kde zrna jemnozerně přibývají, střednozrnný štěrť ubývá. Nejvyšší zastoupení hrubozrnných částic vykazují snímky odebrané na akumulacích před soutokem Volšovky s Kepelským potokem. Přehled zrnnosti Volšovky je uveden v tab. 12.

Tab. 12 Zrnitost Volšovky (zdroj: autor)

Velikost zrna	Jemnozerní	Drobnozrnný štěrť	Střednozrnný štěrť	Hrubozrnný štěrť	Balvanitý štěrť
Zastoupení zrnnostní frakce [%]	9,90 – 33,27	58,21 – 72,84	6,17 – 27,98	0,01 – 1,92	0 – 0,02

4.2 Diskuse

4.2.1 Porovnání výsledků použitých metod

Snímky Volšovky vykazují nepatrně vyšší hodnoty modu než snímky Kepelského potoka. Hodnoty mediánu obou potoků jsou srovnatelné. Většina částic v Kepelském potoce i na Volšovce spadá do zrnnostní kategorie 2 – 10 mm, která značí drobnozrnný štěrť. Na obou tocích tedy převažují hrubě klastické sedimenty. Na tocích nebyly zaznamenány částice patřící do kategorie pod 0,004 mm a 0,004 – 0,063 mm. Na rozdíl od Kepelského potoka se na Volšovce vyskytla částice balvanitého štěrťu, byla však jediná. Částic spadajících do kategorie 50 – 250 mm je na obou tocích minimální množství. Zrna v kategorii 0,063 – 2 mm a zrna střednozrnného štěrťu se vyskytují na

Kepelském potoce i na Volšovce ve srovnatelné míře, mírně se však liší jejich rozložení na toku. Zatímco na Kepelském potoce od soutoku s Volšovkou po pramen ubývá jemnozeme a přibývá střednozrnného štěrku, na Volšovce od soutoku s Otavou jemnozeme přibývá a počet částic střednozrnného štěrku klesá, zhruba od místa odběru 40. snímku roste počet zrn jemnozeme a výskyt částic střednozrnného štěrku je nižší a cca od 50. snímku se opět objevuje větší množství střednozrnného štěrku a jemnozeme ubývá.

4.2.2 Zhodnocení vhodnosti a využitelnosti metod, výhody a nevýhody metod

Pro odběr vzorků sedimentu byla použita metoda vzorkování povrchu, a to metoda měření v mřížce, konkrétně digitální snímkování povrchu sedimentu. Pro náš účel byla zvolená metoda vhodná, mohla být však zvolena vhodnější doba odběru vzorků. Terénní práce probíhaly na konci října, tudíž bylo v potocích spadané listí, jehož odstranění zabralo zbytečně mnoho času. Některé úseky potoků byly se vzorkovacím rámem špatně přístupné. Nevýhodou metody je omezení velikosti měřené částice kvůli nedostatečnému rozlišení fotoaparátu. Výsledkem toho bylo, že nebyla zaznamenána zrna menší než cca 0,3 mm. Pro náš cíl práce to ale nevadilo, jelikož nás zajímaly částice především hrubozrnné. Metoda digitálního snímkování je vhodná tam, kde nesmí být sediment porušen. Výhodou je samozřejmě také to, že částice nejsou nikam transportovány ani nejsou v terénu měřeny.

Snímky získané v terénu byly dále zpracovávány v softwaru Sedimetrics Digital Gravelometer. Zpracování snímků v tomto programu vyžaduje mnoho času, což je kompenzováno poměrně rychlým sběrem vzorků v terénu. V Excelu byla data dále zpracována bez větších problémů.

5 ZÁVĚR

Teoretická část práce shrnuje metody používané pro výzkum zrnitosti fluviálních materiálů. Existují dvě rozdílné metody – vzorkování povrchu a vzorkování objemu. Velikost zrn může být posouzena v terénu makroskopickou prstovou zkouškou. V laboratoři se granulometrické složení hrubozrnných sedimentů určuje síťovou metodou a složení jemnozrnných sedimentů sedimentační metodou. Hrubozrnné částice lze měřit i manuálně – pomocí šablony, pravítka, posuvného měřítka nebo pebble boxu. U zrna se zjišťuje tvar, hustota a objemová hmotnost, dále se provádí statistická analýza. Výsledky zrnitosti se vyjadřují především zrnitostními křivkami a histogramy.

Experimentální část práce popisuje metodu povrchového odběru vzorků – digitální snímkování – aplikovanou na Kepelský potok a Volšovku. Dále představuje software pro zpracování snímků – Sedimetics Digital Gravelometer. Statistickým zpracováním 19 snímků sedimentu Kepelského potoka a 69 snímků sedimentu Volšovky byla zjištěna podobná zrnitost toků. Většina částic v tocích jsou hrubě klastické sedimenty, ve kterých převažuje drobnozrnný štěrku. Toky se liší pouze mírně odlišným rozložením zrn jemnozemě a střednozrnného štěrku. Vzhledem k tomu, že je Kepelský potok přítokem Volšovky, dalo se podobné zrnitostní složení předpokládat.

Pro reprezentativnější určení zrnitosti studovaných toků by bylo lepší odebrat větší množství vzorků. Dále by pro případné další snímkování toků mohl být použit digitální fotoaparát s větším rozlišením.

SEZNAM ZDROJŮ INFORMACÍ

ArcČR (2014): Arcdata Praha – geografické informační systémy [online]. [cit. 2014-01-14]. Dostupné z URL: <<http://www.arcdata.cz/>>.

BANÁŠ, P. a kol. (2007): Základy zpracování dat [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z URL: <<http://fch.upol.cz/skripta/zzd/chemo/chemo.pdf>>.

BÍNA, J., DEMEK, J. (2012): Z nížin do hor. Geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha, 344 s.

BLÁHA, K. a kol. (2006): Metodický pokyn MŽP. Vzorkovací práce v sanační geologii [online]. Ministerstvo životního prostředí, 84 s. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z URL: <http://www.jkenvi.cz/pzp_odber_vzorku.pdf>.

BUNTE, K., ABT, S. R. (2001): Sampling Surface and Subsurface Particle-Size Distributions in Wadable Gravel- and Cobble-Bed Streams for Analyses in Sediment Transport, Hydraulics, and Streambed Monitoring. United States Department of Agriculture Forest Service, Rocky Mountain Research Station, USA, 390 s.

CASAGLI, N., ERMINI, L., ROSATI, G. (2003): Determining grain size distribution of the material composing landslide dams in the Northern Apennines: sampling and processing methods. Engineering Geology, 69, č. 1 – 2, s. 83 – 97.

CENIA (2014): Informační agentura životního prostředí [online]. [cit. 2014-01-14]. Dostupné z URL: <<http://www1.cenia.cz/www/>>.

Česká geologická služba (2014): Geologická mapa 1:50 000 [online]. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z URL: <http://mapy.geology.cz/geocr_50/>.

DEMEK, J. a kol. (1987): Hory a nížiny. Academia, Praha, 584 s.

DIBAVOD (2014): Oddělení geografických informačních systémů a kartografie [online]. [cit. 2014-01-15]. Dostupné z URL: <<http://www.dibavod.cz/>>.

DUDEK, A., MALKOVSKÝ, M., SUK, M. (1984): Atlas hornin. Academia, Praha, 316 s.

FÉR, M. (2013): Pedologie pro zahradníky [online]. ČZU, Praha. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z URL:

<http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CDEQFjAB&url=http%3A%2F%2Fhome.czu.cz%2Fwebdav.php%3Fseo%3Dmfer%2Fke-stazeni%2F%26file%3D%2FPedologie_pro_zahradniky%2FI.cvi%25C4%258Den%25C3%25AD%2FFer_zrnitostl.ppt&ei=vq1zUovLC-WZ4gTq04CQCg&usg=AFQjCNHYTI0_4Fuz9Qa2weupamjtWjPhDw&bvm=bv.55819444,d.bGE&cad=rja>.

GALIA, T., HRADECKÝ, J., ŠKARPICH, V. (2012): Podmínky transportu a akumulace sedimentů v člověkem ovlivněných korytech beskydských toků: příkladová studie soutoku řeky Morávky a Mohelnice [online]. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, Brno, 19, s. 53 – 58. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z URL: <http://www.sci.muni.cz/gap/casop/r2012/053_skarpich12.pdf>.

GAVLASOVÁ, I. (2014): Pedotransferové funkce pro odhad vlhkostních retenčních křivek středně těžkých půd jižní Moravy [online]. Diplomová práce. Fakulta stavební, VUT, Brno, 63 s. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z URL: <<https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/30303/16839.pdf?sequence=1>>.

GREGOROVÁ, E., PABST, W. (2007): Charakterizace částic a částicových soustav [online]. VŠCHT, Praha, 109 s. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z URL: <http://www.vscht.cz/sil/keramika/Characterization_of_particles/CPPS%20_Czech%20version_.pdf>.

HEJÁTKOVÁ, K., POKORNÝ, E., ŠARAPATKA, B. (2007): Hodnocení kvality půdy v ekologicky hospodařícím podniku [online]. ZERA, Náměšť nad Oslavou, 29 s. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z URL: <http://eagri.cz/public/web/file/26922/Hodnoceni_kvality_pudy.pdf>.

HYBLER, V., NÁPLAVOVÁ, M. (2008): Vlastnosti rebonitovaných zemědělských půd v katastru Moravský Písek [online]. Agronomická fakulta, Mendelova univerzita, Brno, 15 s. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z URL: <http://web2.mendelu.cz/af_291_mendelnet/mendelnet08agro/files/articles/agroeko_na_plavova.pdf>.

CHÁB, J. a kol. (2008): Stručná geologie základu Českého masivu a jeho karbonského a permského pokryvu. Česká geologická služba, Praha, 284 s.

CHLUPÁČ, I. (2002): Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí. Academia, Praha, 279 s.

JANKŮ, J., KOHOUT, P. (2011): Vzorkování pro analýzu životního prostředí 6/14 [online]. 72 s. [cit. 2014-03-14]. Dostupné z URL: <http://www.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/vzorkovani/6_Vzorkovani_pevnych_materiálu_II.pdf>.

JUO, J.-L., YANG, Z.-Y. (2001): Interpretation of sieve analysis data using the box-counting method for gravelly cobbles. Can. Geotech. J. 38, s. 1201 – 1212.

KÚ PLZEŇSKÉHO KRAJE (2009): Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Plzeňského kraje [online]. Petrovice u Sušice (karta obce: CZ032_0465_01), 2 s. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <http://mapy.kr-plzensky.cz/prvak/html/PDF/KARTY/CZ032_0465_01.pdf>.

LOŽEK, V. (2007): Česká a slovenská krajina v kvartéru. Zrcadlo minulosti. Dokořán, Praha, 198 s.

Maneko spol. s r.o. (2013): Laboratorní přístroje a technika [online]. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <<http://www.maneko.cz/pyknometr-podle-gay-lussaca-25-ml/>>.

Metody sledování terestrických a bentických organismů [online]. 28 s. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <<http://frouz.wz.cz/lecture4.pdf>>.

Morkus Morava, s. r. o. (2014): Objemové hmotnosti skladovaných a přepravovaných komodit v zemědělství a průmyslu [online]. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z URL: <<http://www.sila-nadrze.cz/objemove-hmotnosti.html>>.

Návody k laboratorním cvičením z mechaniky hornin a zemin [online]. 12 s. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <<http://homel.vsb.cz/~pet346/MHZ/Navody%20do%20laboratore.pdf>>.

KUČEROVÁ, I. a kol (2008): Návod k laboratorním cvičením: Návod k laboratorním pracím [online]. Multimediální výukový projekt. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z URL: <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stavebni_materialy_objem_hmotnost/index.htm>.

Návod pro pojmenování a popis zemin (ČSN 72 1001, ČSN 73 1001) (2013) [online]. 8 s. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z URL: <geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/Pojmenovani_zemin.doc>.

PETRÁNEK, P. (2007): Geologická encyklopedie on-line [online]. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <<http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl>>.

PÍCHA, A., ŠMEJKALOVÁ, P. (2013): Vzorkování [online]. VŠCHT, Praha, 13 s. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <<http://web.vscht.cz/~smejkalp/OCV/Vzorkovani/Vzorkovani-S6.pdf>>.

Regionální rozvojová agentura Šumava o. p. s. (2014): Biosférická rezervace Šumava [online]. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z URL: <<http://www.br-sumava.cz/>>.

RUBÍN, J. a kol. (2006): Přírodní klenoty České republiky. Academia, Praha, 318 s.

RŮŽIČKOVÁ, E. a kol. (2003): Kvarterní klastické sedimenty České republiky: struktury a textury hlavních genetických typů. Česká geologická služba, Praha, 68 s.

Sedimetrics (2014): Digital solutions for environmental granulometry [online]. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z URL: <<http://www.sedimetrics.com/>>.

Silikátové technologie (2009): Stanovení zrnitostního složení cihlářských hlín pipetovací metodou. Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství, FAST VŠB-TU Ostrava, 4 s.

SKUPIEN, P., VAŠÍČEK, Z. (2008): Multimediální texty ze sedimentologie [online]. Hornicko-geologická fakulta, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z URL: <<http://geologie.vsb.cz/Sedimentologie/terenni%20dokumentace/struktura%20sedimentu.htm>>.

SOWAC-GIS (2013): Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. [online]. [cit. 2013-11-15]. Dostupné z URL: <<http://geoportal.vumop.cz>>.

ŠKARPICH, V. a kol. (2010): Identifikace (dis)konektivit vodních toků za využití makrogranulometrické analýzy korytových sedimentů (Moravskoslezské Beskydy) [online]. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku, Brno, 17, s. 199 – 204. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z URL: <http://www.sci.muni.cz/gap/casop/r2010/skarpich10_199.pdf>.

ŠTELCL, J., VÁVRA, V. (2008): Multimediální atlas hornin. Systematický přehled sedimentárních hornin [online]. Ústav geologických věd, PŘF MU, Brno. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <http://atlas.horniny.sci.muni.cz/sedimentarni/sedimenty_system.html>.

TAUBNER, H. a kol. (2009): Determination of soil texture: Comparison of the sedimentation method and the laser-diffraction analysis [online]. J. Plant Nutr. Soil Sci, s. 161 – 171. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z URL: <https://faculty.unlv.edu/bbuck/COUNTY_DCP/Taubner%20et%20al%202009.pdf>.

Technické normy (2005): ČSN CEN ISO/TS 17892-4 – Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4: Stanovení zrnitosti zemin [online]. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <<http://www.technickenormy.cz/csn-cen-iso-ts-17892-4-geotechnicky-pruzkum-a-zkouseni-laboratorni-zkousky-zemin-cast-4-stanoveni-zrnitosti-zemin/>>.

TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. Česká geologická služba, Praha, 67 s.

TVRDÍK, J. (2010): Základy pravděpodobnosti a statistiky [online]. Přírodovědecká fakulta Ostravské univerzity, Ostrava, 113 s. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z URL: <http://www1.osu.cz/~tvrdik/down/files/XZMAS_10.pdf>.

ULRICH, S. a kol. (2014): Vývoj Českého masívu [online]. Geofyzikální ústav Akademie věd ČR, v.v.i. Praha. [cit. 2014-03-28]. Dostupné z URL: <<http://www.ig.cas.cz/popularizace/geopark-sporilov/vyvoj-ceskeho-masivu>>.

VÁŇOVÁ, A. (2003): Fyzikální vlastnosti materiálů skládek komunálního odpadu a jejich stanovení [online]. Odborná konference doktorského studia s mezinárodní účastí, Brno, s. 53 – 58. [cit. 2014-03-23].

Dostupné z URL: <<http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/3/rp/vanova.pdf>>.

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 327/1998 Sb. (1998): Charakteristika klimatických regionů [online]. Ministerstvo zemědělství. [cit. 2013-10-02]. Dostupné z URL: <<http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100163546.html>>.

Vysoké učení technické v Brně (2014): Mechanická zařízení [online]. Fakulta chemická, VUT, Brno. [cit. 2013-11-06]. Dostupné z URL: <<http://www.fch.vutbr.cz/cs/veda/pristroje-a-metody/mechanicka-zarizeni.html>>.

ZABAGED (2014): Základní báze geografických dat České republiky [online]. [cit. 2013-10-13]. Dostupné z URL: <<http://geoportal.cuzk.cz>>.

ZAHRAVNICKÝ, J. a kol. (2004): Plzeňsko a Karlovarsko: Chráněná území ČR, svazek XI. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR a EkoCentrum Brno, Praha, 588 s.

ZIMÁK, J. (2005): Petrografie sedimentů [online]. Katedra geologie PřF UP, Olomouc, 20 s. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z URL: <http://www.geology.upol.cz/Soubory/2005_Zimak_Jiri_Petrografie_sedimentu.pdf>.

ZOUBKOVÁ, L. (2012): Pedologická laboratorní cvičení [online]. Fakulta životního prostředí Univerzity Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 40 s. [cit. 2014-03-18]. Dostupné z URL: <http://envimod.fzp.ujep.cz/sites/default/files/pedologie_lab.cv_.pdf>.

Příloha 1 Průměrné hodnoty vybraných parametrů sedimentu Kepelského potoka (zdroj: autor)

Snímek	Délka osy <i>b</i> [mm]	Čtvercový otvor síta opravený délkou osy <i>b</i> [mm]	Délka osy <i>a</i> [mm]	Plocha částice [mm ²]	Orientace [°]	Excentricita	Ekvivalentní průměr [mm]
1	4,27	3,38	7,25	60,85	1,76	0,73	5,12
2	5,09	4,02	8,72	98,33	-10,47	0,75	6,15
3	5,54	4,37	9,16	98,97	0,82	0,72	6,64
4	3,31	2,62	5,68	39,28	-6,14	0,72	3,96
5	5,10	4,03	8,47	91,63	4,94	0,73	6,12
6	3,96	3,13	6,61	73,15	8,41	0,72	4,70
7	4,21	3,33	7,20	71,28	-5,03	0,73	5,07
8	5,55	4,38	9,06	85,87	2,08	0,73	6,63
9	4,89	3,87	8,16	67,49	1,86	0,73	5,89
10	5,87	4,64	9,69	106,37	-0,58	0,73	7,04
11	4,97	3,93	8,11	59,39	-0,09	0,72	5,90
12	6,19	4,89	10,12	76,40	-0,49	0,73	7,39
13	5,80	4,58	9,47	92,42	-0,02	0,72	6,95
14	5,72	4,52	9,43	79,69	1,83	0,73	6,85
15	6,54	5,17	10,71	134,36	-2,30	0,73	7,83
16	6,11	4,82	9,76	74,64	-4,74	0,73	7,24
17	6,13	4,84	10,14	117,34	11,21	0,74	7,35
18	6,58	5,20	11,17	101,58	-17,93	0,75	7,98
19	4,31	3,40	7,11	45,90	0,67	0,72	5,11

Příloha 2 Průměrné hodnoty vybraných parametrů sedimentu Volšovky (zdroj: autor)

Snímek	Délka osy <i>b</i> [mm]	Čtvercový otvor síta opravený délkou osy <i>b</i> [mm]	Délka osy <i>a</i> [mm]	Plocha částice [mm ²]	Orientace [°]	Excentricita	Ekvivalentní průměr [mm]
1	7,27	5,75	11,69	112,74	-6,11	0,73	8,70
2	6,87	5,43	11,36	139,41	8,07	0,74	8,24
3	6,74	5,32	11,18	123,95	-5,00	0,74	8,11
4	5,31	4,19	8,66	76,06	0,77	0,72	6,31
5	4,07	3,21	6,58	40,10	2,64	0,71	4,77
6	5,76	4,55	9,61	99,28	2,28	0,73	6,93
7	6,17	4,88	10,07	110,29	1,46	0,72	7,38
8	6,16	4,87	9,98	110,17	3,12	0,72	7,34
9	5,23	4,13	8,49	61,56	1,65	0,72	6,24
10	4,72	3,73	7,57	57,35	-1,72	0,71	5,55
11	5,21	4,12	8,42	60,88	0,49	0,71	6,19
12	4,26	3,37	6,93	32,87	0,91	0,71	5,07
13	5,47	4,32	8,78	58,25	1,02	0,71	6,47
14	5,01	3,96	8,08	73,80	0,57	0,71	5,93
15	4,60	3,63	7,44	68,34	-1,40	0,70	5,42
16	5,04	3,98	8,27	68,37	0,38	0,72	6,02
17	4,68	3,70	7,57	53,49	0,96	0,71	5,55
18	5,11	4,04	8,50	80,62	3,69	0,72	6,12
19	5,69	4,49	9,59	127,79	1,32	0,73	6,88
20	4,52	3,57	7,67	63,83	1,06	0,73	5,45
21	4,36	3,45	7,30	66,77	5,19	0,72	5,21
22	4,63	3,66	7,61	73,05	3,09	0,72	5,52

Snímek	Délka osy <i>b</i> [mm]	Čtvercový otvor síta opravený délkou osy <i>b</i> [mm]	Délka osy <i>a</i> [mm]	Plocha částice [mm ²]	Orientace [°]	Excentricita	Ekvivalentní průměr [mm]
23	5,56	4,39	9,20	99,62	4,02	0,72	6,68
24	5,09	4,02	8,48	97,39	-1,12	0,73	6,09
25	5,58	4,41	9,34	104,22	2,88	0,73	6,69
26	4,93	3,90	8,38	78,53	2,36	0,73	5,95
27	5,07	4,01	8,36	83,38	2,30	0,72	6,05
28	4,35	3,44	7,27	69,37	1,30	0,72	5,20
29	4,15	3,28	6,84	62,36	-0,23	0,71	4,91
30	3,85	3,04	6,45	48,75	7,57	0,72	4,57
31	4,37	3,45	7,34	67,29	2,76	0,72	5,26
32	4,85	3,83	7,97	71,62	0,54	0,71	5,79
33	4,26	3,36	7,12	62,72	2,05	0,72	5,09
34	5,88	4,64	9,54	122,35	-5,07	0,72	6,96
35	3,89	3,08	6,42	47,58	2,61	0,71	4,59
36	4,22	3,33	6,89	37,03	-6,06	0,71	5,00
37	4,69	3,71	7,68	72,48	0,79	0,71	5,61
38	3,65	2,88	6,01	32,76	2,24	0,71	4,32
39	4,87	3,85	7,86	64,31	1,21	0,71	5,77
40	5,45	4,31	8,90	104,48	3,36	0,72	6,47
41	5,36	4,24	8,73	66,19	-0,34	0,72	6,38
42	5,13	4,06	8,07	58,94	-0,23	0,70	6,02
43	5,20	4,11	8,32	56,09	0,19	0,71	6,18
44	3,95	3,12	6,54	71,01	4,15	0,71	4,72
45	5,30	4,19	8,39	60,57	4,02	0,71	6,25
46	6,38	5,04	10,55	125,41	0,72	0,73	7,67

Snímek	Délka osy <i>b</i> [mm]	Čtvercový otvor síta opravený délkou osy <i>b</i> [mm]	Délka osy <i>a</i> [mm]	Plocha částice [mm ²]	Orientace [°]	Excentricita	Ekvivalentní průměr [mm]
47	5,46	4,31	9,13	87,06	1,93	0,73	6,56
48	6,65	5,25	10,81	107,33	3,28	0,73	7,94
49	8,26	6,53	13,75	199,22	14,21	0,74	9,98
50	8,14	6,43	13,80	194,52	-23,73	0,76	9,93
51	8,10	6,40	13,62	187,55	15,54	0,75	9,85
52	7,82	6,18	12,58	166,14	-2,19	0,73	9,31
53	5,48	4,33	9,07	90,93	-13,30	0,73	6,57
54	5,59	4,41	8,90	78,08	3,39	0,72	6,61
55	6,06	4,79	9,83	101,87	3,95	0,72	7,24
56	5,86	4,63	9,62	93,16	5,78	0,72	7,03
57	5,55	4,39	9,15	97,16	2,00	0,73	6,63
58	4,33	3,42	6,97	55,96	3,92	0,71	5,11
59	5,54	4,38	9,10	94,42	0,68	0,73	6,66
60	5,25	4,15	8,63	65,52	1,02	0,73	6,27
61	5,22	4,13	8,50	75,82	0,42	0,72	6,22
62	5,32	4,20	8,77	89,70	-1,28	0,73	6,38
63	4,98	3,94	7,98	58,62	6,27	0,72	5,87
64	6,59	5,21	10,79	124,21	-1,32	0,73	7,90
65	5,73	4,53	9,09	86,80	5,84	0,71	6,76
66	4,78	3,77	7,73	48,95	7,11	0,72	5,66
67	4,58	3,62	7,42	65,69	-1,77	0,71	5,43
68	5,08	4,01	8,48	92,45	4,81	0,73	6,10
69	4,73	3,74	7,97	79,38	-0,63	0,73	5,70

□